

Jori Weltner

# Rakenne- ja analyysimallien yhteiskäyttö teräsrakennesuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennetekniikka

Insinöörityö

24.04.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jori Weltner Rakenne- ja analyysimallien yhteiskäyttö teräsrakennesuunnittelussa 47 sivua + 2 liitettä 24.04.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Aarne Seppänen (Metropolia) Projekti-insinööri Antti Rantala (IS-Plan Oy) ICT / Mallintaja Pasi Kivimäki (IS-Plan Oy)
<p>Tietomallintaminen on rakentamisen suunnittelun voimakkaimmin kehittyvä osa-alue tällä hetkellä. Mallintamisen kehittyessä nopeaa tahtia, suunnittelutoimistossa täytyy tehdä paljon jatkuvaa työtä työskentelytapojen kehittämisessä pysyäkseen mallintamisen etulinjassa. Kehitettävää löytyy tällä hetkellä esimerkiksi laskentaan käytettävien analyysimallien mallinnuskäytännöissä.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli testata käytäntöjä ja hankkia tilaajayritykselle tietoa siitä, kuinka Tekla Structuresin analyysimalliominaisuudet voidaan ottaa käyttöön ja niitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa laajemmassa mittakaavassa uusissa projekteissa. Tutkimuksessa tarkasteltiin mallintamista teräksisten sauvarakenteiden kannalta. Työssä pyrittiin myös tuomaan esille ongelmia, joita Teklan analyysimallintamispuolelta tällä hetkellä löytyy.</p> <p>Opinnäytetyössä mallinnettiin teräshallirakenne olemassa olevan projektin valmiiden laskentojen pohjalta. Työssä tutkittiin, miten analyysimalli toimii ja kuinka mallia pitää rakentaa sekä analyysin että rakennemallin oikeellisuuden kannalta. Samalla tutkittiin, millä Teklan analyysimallin asetuksilla saatiin aikaan samoja asetuksia kuin referenssinä toimivassa mallissa. Työtä tehdessä tutustuttiin molempien ohjelmien mallinnusohjeistuksiin, sekä haastateltiin analyysimallia jo hyödyntänyttä yritystä heidän toimintatavoistaan.</p> <p>Työssä saatiin selville paljon hyvää perustietoutta, jolla on mahdollista alkaa hyödyntää Teklan analyysimallintamisominaisuuksia ja kehittää eteenpäin niiden käyttöön liittyviä työskentelytapoja yrityksessä. Lisäksi saatiin kartoitettua useita kehitystyötä tarvitsevia ongelmia ja ehdotuksia analyysimallin toiminnallisuuksien parantamiseksi.</p>	
Avainsanat	Tekla, Robot, Analyysimalli, Teräs

Author Title Number of Pages Date	Jori Weltner Collaborative use of structural and analysis models in steel structure design 47 pages + 2 appendices 24 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil engineering
Specialisation option	Structural engineering
Instructors	Aarne Seppänen, Lecturer (Metropolia) Antti Rantala, Project Engineer (IS-Plan Oy) Pasi Kivimäki, ICT / Modeler (IS-Plan Oy)
<p>Building information modeling is one of the most rapidly developing fields in construction business. As modeling develops at a rapid pace, design offices have to work continuously on their design methods in order to stay on the front line of the structural modeling business. At the moment, improvement is needed for example on the working principles for analysis models used for structural calculations.</p> <p>The aim of this study was to test the practices and acquire information for the client company on how Tekla Structures analysis model features can be used now and utilized in the future on a larger scale in new projects. The study examined the modeling of steel frame structures. The work also aimed to highlight any problems that Tekla's analysis modeling side is experiencing at the moment.</p> <p>In this study, a steel framed hall structure was modeled based on an existing finished project. The thesis studies how analysis modeling works on Tekla Structures and how the model should be built so that it works on both sides: structural modeling and structural analysis. At the same time, it was examined how the analysis options used in the reference model could also be implemented in Tekla Structures. During the study, modeling instructions for both programs were studied and a representative of a company with wider experience on the analysis product was interviewed.</p> <p>The study provided the client company with great basic knowledge on the subject, as well as knowledge on the analysis features and working methods that need further improvement. In addition, many problems were mapped and suggestions on how to improve the usability of the analysis model were gathered.</p>	
Keywords	Tekla, Robot, Analysis modeling, Steel

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn taustaa	1
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	1
1.3	Menetelmät	2
2	Lähtökohdat	2
2.1	Käytetyt ohjelmat, versiot ja lisäosat	2
2.1.1	Tekla Structures	3
2.1.2	Autodesk Robot Structural Analysis	3
2.1.3	Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54	4
2.2	Projektitiedot	4
3	Analyysimallin luominen	5
3.1	Multi user -ongelma	5
3.2	Analyysimalliasetukset	6
4	Mallintaminen	8
4.1	Filtteröinti	8
4.2	Näkymäfiltteröinti	8
4.3	Sauvojen analyysiasetukset	10
4.4	Mallintaminen valmistuksen kannalta	13
4.4.1	Palkin sijoittaminen analyysisauvan suhteen	13
4.4.2	Sauvojen muokkaaminen	16
4.4.3	Makrot ja liitokset	17
4.5	Solmupisteet	17
4.6	Rigid links	19
4.7	Johtopäätökset	19
5	Kuormitukset ja liitokset	20
5.1	Kuormitukset mallissa	20
5.2	Kuormien mallintaminen	22
5.2.1	Kuormien ryhmittäminen	22
5.2.2	Kuormien lisääminen malliin	23
5.2.3	Kuormien jakauttaminen	25

5.2.4	Kuormien filtteriointi	27
5.3	Kuormitusyhdistelmät	28
5.4	Ongelmat ja johtopäätökset	30
6	Laskenta ja tulokset	31
6.1	Mallin siirto ja laskenta	31
6.2	Profiilit	32
6.3	Materiaalit	35
6.4	Mitoitusarvot	36
7	Tulosten tarkastelu ja muutokset	37
7.1	Tulosten siirtäminen	37
7.2	Muutosten päivittäminen Teklaan	40
7.3	Ongelmat ja johtopäätökset	40
8	Yhteenveto	42
8.1	Hyödyt	42
8.2	Ongelmat	42
8.3	Muuta huomioitavaa	43
9	Johtopäätökset	44
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Referenssirakennuksen rakennetietoja	
	Liite 2. KPM-Engineeringin tekemien lisäosien kuvauksia	

## Lyhenteet

IFC	Industry Foundation Classes
UDA	User Defined Attributes
SLS	Serviceability Limit State. Käyttörajatila.
ULS	Ultimate Limit State. Murtorajatila.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn taustaa

Tietomallintaminen on rakentamisen suunnittelun voimakkaimmin kehittyvä osa-alue tällä hetkellä. Suunnittelussa ollaan siirtymässä 2D-piirtämisestä kolmiulotteiseen mallintamiseen vahvasti sitä mukaa, kun suunnitteluohjelmat ja työtavat kehittyvät. Mallintamisen kehittyessä nopeaa tahtia suunnittelutoimistojen täytyy tehdä paljon jatkuvaa työtä suunnittelutapojen kehittämisessä pysyäkseen mallintamisen etulinjassa.

Tämän insinöörityön tilaajana toimii IS-Plan Oy, joka on Vantaalla toimiva teräsrakennesuunnitteluun erikoistunut suunnittelutoimisto. IS-Plan Oy on osa FMC Group -konsernia, jonka omistajana on pohjoismainen suunnittelualan konsulttiyhtiö Sweco.

Usean yksityiskohtaisen rakennemallin luominen vie projekteista työtunteja ja muutosten hallitseminen eri ohjelmilla tuotettujen mallien välillä vaatii erityistä tarkkuutta. Yhdellä mallilla tapahtuva rakennemallintaminen ja -laskenta nostaisi mahdollisesti työtehokkuutta ja vähentäisi mallien synkronoinnista johtuvien inhimillisten virheiden mahdollisuutta.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on testata käytäntöjä ja laatia tilaajayritykselle perusteet ohjeistukselle, jolla yhden mallin mallintaminen voidaan ottaa käyttöön tulevaisuudessa laajemmassa mittakaavassa uusissa projekteissa. Tutkimuksessa tarkastellaan mallintamista teräksisten sauvarakenteiden kannalta. Työssä otetaan tässä vaiheessa kantaa vain teräsrakenteiden perusmitoittamiseen, eikä oteta kantaa rakenteiden asetuksiin palo-, värähtely- ja maanjäristysmitoituksen kannalta.

Opinnäytetyössä keskitytään mallittamisen perusvaatimuksiin ja yleisimpiin rakenneprofiileihin ja liitoksiin. Työssä ei huomioida referenssirakennuksessa mahdollisesti käytettäviä muita rakenteita, kuten WQ-palkkeja, vaan kyseiset rakenteet korvataan perusrakenneratkaisuilla. Opinnäytetyössä ei myöskään oteta kantaa betonirakentei-

den, kuten perustusten ja ontelolaatastojen tai puurakenteiden, kuten kate-elementtien rakennesuunnitteluun ja niiden liittämiseen teräsrakenteisiin.

Tuloksista pyritään luomaan ohjeistus, jota voidaan tulevaisuudessa käyttää yrityksessä hyödyksi siirryttäessä useista laskenta- ja mallinnusohjelmista ja malleista yhteen. Ohjeessa selvitetään opinnäytetyössä läpikäytyt perusteet *Tekla Structures* -mallin mallintamisesta analyysin näkökulmasta *Teklan* valmistamaa *Robot Structural Analysis* mallinsiirtolinkkiä käyttäen.

### 1.3 Menetelmät

Tutkimuksessa mallinnetaan *Tekla Structures* -ohjelmalla teräsrakenteinen halli käynnissä olevan suunnitteluprojektin pohjalta tehtyä mallia ja lähtötietoja tarpeen mukaan soveltaen. Mallintaessa kiinnitetään erityistä huomiota mallintamiseen analyysin kannalta, esimerkiksi miten osat ja niiden pääte-/solmupisteet sijoitetaan rakenteessa, jotta ne toimivat oikein analyysiä ajettaessa. Työssä perehdytään myös analyysiobjektien ominaisuuksiin ja muuttujiin, ja tarkastellaan miten niiden muuttaminen vaikuttaa rakenteen laskentaan.

*Tekla Structures* -ohjelmasta analyysimallit ajetaan liitännäisen avulla *Robot Structural Analysis* -ohjelmaan, jolla suoritetaan rakenteen laskenta. Laskennan jälkeen tulokset siirretään takaisin *Teklaan* tarkastelua ja analysointia varten ja niitä verrataan referenssiprojektin *Robo*fin käyttöliittymissä tehtyihin tuloksiin. Tuloksista etsitään mallintamiseen liittyviä ongelmia ja mahdollisia epäkäytännöllisyyksiä. Laskennan jälkeen selvitetään periaatteet, joilla rakenne- ja profiilimuutokset saadaan tehtyä malliin oikein ja siirrettyä tehokkaasti laskentaan.

## 2 Lähtökohdat

### 2.1 Käytetyt ohjelmat, versiot ja lisäosat

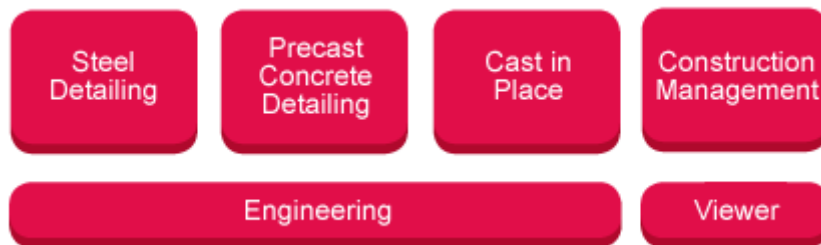
Tässä opinnäytetyössä käytetään *Tekla Structures x64* -mallinnusohjelmistoa. Ohjelmistoversio on 18.0.7. Laskennassa käytetty ohjelmisto on *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013* -versiota 26.0.0.4254 x64.



Mallinsiirtoon ohjelmien välillä käytetään *Tekla Structures x64 – Autodesk Robot Structural Analysis component 1.54* -lisäosaa.

### 2.1.1 Tekla Structures

Tekla Oyj on vuonna 1966 Teknillinen Laskenta Oy -nimellä perustettu suomalainen ohjelmistoyritys. Yhtiöllä on Espoon pääkonttorin lisäksi toimistoja 14:ssä maassa ja työntekijöitä yli 500, joista noin 200 Suomen ulkopuolella. Tekla Oyj:n pääasiallinen tuote on *Tekla Structures* -suunnitteluohjelmisto, joka on käytössä rakennesuunnittelussa yli sadassa maassa. [3.] Vuonna 2011 Tekla liittyi yrityskaupan myötä osaksi yhdysvaltalaisista mittalaitteita ja GPS- järjestelmiä valmistavaa Trimble-konsernia. [7.]



Kuva 1. *Tekla Structuresin* ohjelmistotyytit [3.]

*Tekla Structures* on rakennesuunnittelijoille suunniteltu mallintamisohjelmisto, jolla voidaan tuottaa yksityiskohtaisia tietomalleja teräs-, betoni- ja puurakenteista. Ohjelmisto pohjautuu vuonna 1993 ilmestyneeseen *Xsteel*-terässuunnitteluohjelmistoon, joka muutti nimensä *Tekla Structuresiksi* vuonna 2004, minkä takia ohjelmisto onkin erityisen taipuva teräsrakennesuunnittelun tarpeisiin. Ohjelmisto on päivittynyt ahkerasti, noin version vuosivauhtia, ja on tällä hetkellä versiossa 19. Nykyään ohjelmistolla onnistuvat myös vaativat betonisuunnittelutehtävät. Teklan uusimpia lisäyksiä ohjelmiston toimintoihin ovat erilaiset projektihallintatyökalut, joilla voidaan suunnitella ja seurata projektin edistymistä tietomallipohjaisesti. [3.]

### 2.1.2 Autodesk Robot Structural Analysis

*Robot Structural Analysis* on *Autodesk inc.*:n omistama ja ylläpitämä monipuolinen rakenteiden laskenta- ja mitoitusohjelmisto. Ohjelmistolla voidaan mitoittaa teräs-, betoni- ja puurakenteita 2D- ja 3D-tiloissa. Ohjelma on yhteensopiva useimpien suurimpien

mallinnusohjelmistojen kanssa joko suoraan tai erilaisten mallinsiirtolisäosien kanssa. [8.]

*Robot* on käytössä rakenteiden suunnittelutyössä laajasti ympäri maailman ja ohjelma sisältääkin yli 40 erilaista terässuunnittelukoodia ja yli 70 rakennuskoodia ympäri maailman. Teräsrakenteita varten *Robot*iin on sisäänrakennettu yli 60 erilaista profiilikatalogia. Suomesta mm. Ruukin teräsprofiilikatalogit löytyvät ohjelmistosta. [8.]

*Robot*iissa rakenteiden ja tulosten tarkastelua voidaan suorittaa monipuolisesti. Tuloksia voidaan ottaa koko rakenteesta, rakennuksen osiosta tai vain yhdestä rakenneosasta kerrallaan. Tuloksia voidaan tarkastella erilaisten kuvaajien ja taulukoiden avulla. Yksittäisistä osista voidaan tulostaa jopa yksityiskohtaisia analyysiraportteja. Teräsrakenteiden suunnittelussa *Robot*ia voidaan käyttää liitosten laskentaan ja mitoittamiseen.

### 2.1.3 Autodesk *Robot Structural Analysis* component 1.54

*Autodesk Robot Structural Analysis component* mahdollistaa rakenteiden ja suunnittelutiedon siirtämisen *Teklan* ja *Robot*iin välillä. Yhteyden mahdollistamiseksi molempien ohjelmien on oltava asennettuna samalla koneella. Komponentti voi siirtää tietoa vain yhteen *Robot* -ohjelmaan kerrallaan. Jos koneella on asennettuna useampi eri *Robot*-versio, täytyy haluttu ohjelmaversio merkitä Windows-rekisteriin. Tämä onnistuu esimerkiksi Windowsin käynnistysvalikosta polusta: **Autodesk > Robot Structural analysis > Tools > Calculation Engine – Component registration**. Komponentti itsessään on ladattavissa ja asennettavissa *Teklan* Extranetistä. [2.]

## 2.2 Projektitiedot

Työssä käytettävä referenssirakennus on teräsrakenteinen elintarvikemyymälätila, joka sijaitsee Helsingin Pohjois-Haagassa. Rakennukseen kuuluu myymäläosa, sekä toimisto- ja varasto-osa, jonka yhteydessä ovat myös rakennuksen tekniset tilat.

Myymäläosassa jäykistävänä rakenteena on poikittaissuunnassa ristikoiden ja teräspi-larien muodostama kehärakenne. Pituussuunnassa rakenne on jäykistetty teräsput-kisitein. Yläpohja muodostuu teräsristikoista, joiden päällä on kantava puuelementti.

Toimisto-osassa on teräsrakenteinen runko, jonka teräspalkkien päällä on yläpohjassa kantava puuelementti ja välipohjassa ontelolaatasto. Kaikki pilarit suunnitellaan alapäästään jäykin liitoksin. Seinärakenteena on *Paroc*-elementti ja osissa seiniä tiiliverhous.

Rakennuksen mittapiirustukset ja leikkaukset löytyvät liitteestä yksi (liite 1).

### 3 Analyysimallin luominen

#### 3.1 Multi user -ongelma

*Tekla Structuresin* versiossa 18.0.7 on *multi user* -tilassa analyysimallintamisen puolella ongelmia. Jos yksi käyttäjä on *multi user* -mallissa käyttämässä analyysimallia, on analyysimalli lukittuna, eikä muilla käyttäjillä ole siihen pääsyä. Jos mallissa on muita käyttäjiä samaan aikaan mallintamassa kun toinen käyttäjä tekee muutoksia analyysimalliin, täytyy heidän tallentaa malli ja avata malli uudelleen ennen kuin saavat tehdyt muutokset näkyviin omassa mallissaan. Käyttäjän, joka tekee muutoksia analyysimalliin, on myös avattava oma mallinsa uudestaan, koska *Tekla* hävittää kaikki analyysimallit analyysimallilistasta ja ne tulevat takaisin näkyviin vain uudelleenkäynnistyksen jälkeen. [2.]

Analyysimallin käyttäminen on ongelmallista monella käyttäjällä myös sen takia, että muiden käyttäjien tekemät muutokset rakennesauvoihin vaikuttavat analyysimallin toimintaan. Analyysimallin saa lukittua rakennesauvojen aiheuttamilta muutoksilta muuttamalla analyysimallin asetuksen *Automatic update* arvoksi *No - Physical model changes are not considered*, mutta kyseinen toiminto vaikuttaa kaikkiin analyysimallin osiin.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan edellä mainituista ongelmista johtuen *single user* -tilassa mallintaen.

### 3.2 Analyysimalliasetukset

Analyysimallin luominen on *Teklassa* tehty suhteellisen helpoksi. Perustasolla, esimerkiksi pelkän geometriatiedon siirtämistä varten, analyysimallin voi luoda muutamalla klikkauksella. Tarkempia analyysijä vartenkin asetettavat yleiset analyysimalliasetukset ovat mahduttu suhteellisen yksinkertaisesti muuttamaan tarpeelliseen perusvalintaan, jotka vaikuttavat muuttamalla kaikkien asetettavien analyysiosien perusasetuksia. Asetukset voi kuitenkin muuttaa osakohtaisesti tarpeen mukaan osien omista analyysivalinnoista.

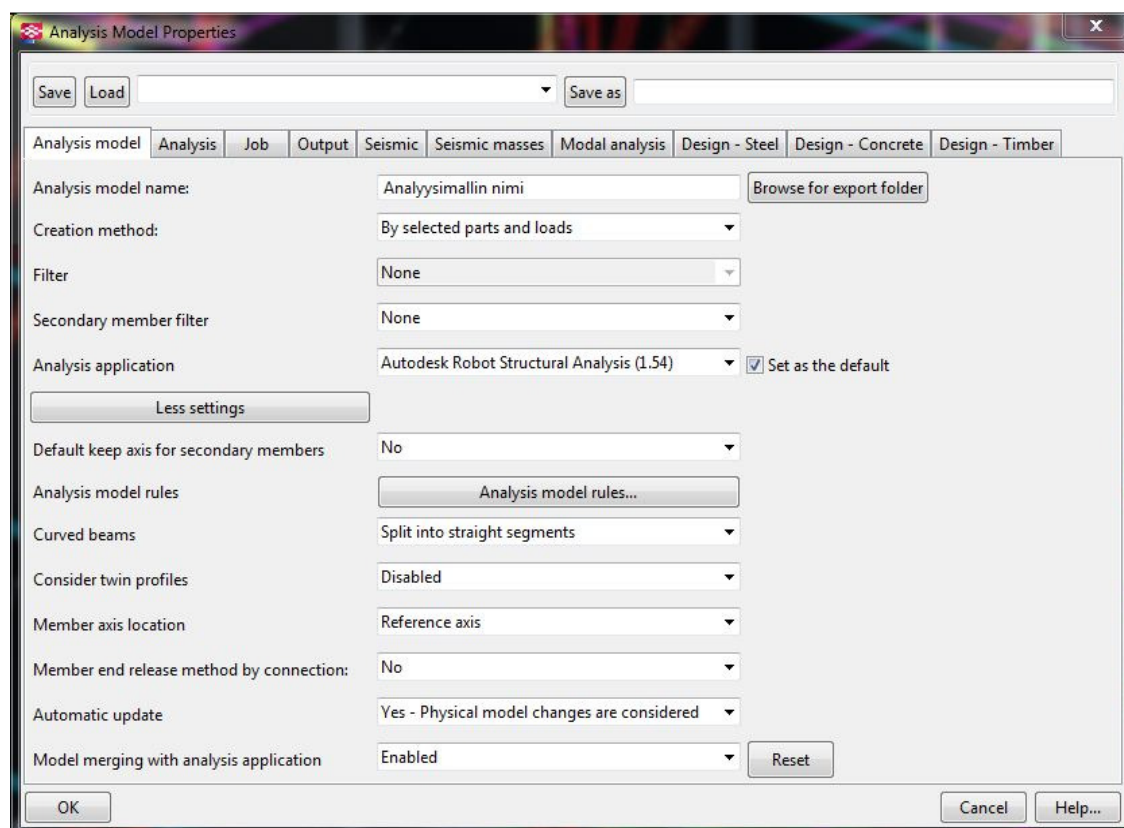
Analyysimalliasetuksista asetetaan mallin yleiset analyysiasetukset. Tärkeimpinä asetuksina mallinsiirron toiminnan kannalta ovat *Creation method* ja *Filter* -valinnat, joilla määritellään analyysimalliin tulevat rakenneosat, ja *Analysis application* -valinta, jolla valitaan haluttu mallinsiirtomuoto.

*Creation method* ja *Filter* -valinnoissa määritellään, luodaanko analyysimalli koko rakenteesta vai pelkästään halutusta osasta rakennetta. *Creation method* -valinnalla voidaan malli luoda joko kaikista mallista olevista rakenneosista, tai vain valituista osista ja kuormista. Mallin luominen kannattaa tehdä *From selected parts* -valinnalla, ja valita koko mallin mallinnusnäköymästä. *Full Model* -valinnalla malli tulee aina kaikkine osineen analysoitavaksi, eikä siitä voi poistaa eikä lisätä osia. Halutuista osista luodusta mallista voi tarpeen vaatiessa rajata pois analyysiosia tai kuormia pois, tai niitä voi lisätä jälkeensä. *From Selected Parts* -valinnalla täytyy kuitenkin uusien osien analyysisauvat muistaa lisätä laskentamalliin. Osia ja kuormia voidaan lisätä analyysimallivalikosta valitsemalla mallin ja käyttämällä *Add selected parts* ja *Remove selected parts* -valintoja. [1.]

*Filter*-valikosta löytyvät kaikki malliin rakennemallintamistilassa luodut valintafiltrit (*selection filter*). *Filter*-valikolla luoduissa analyysimalleissa näkyvät kaikki osat, jotka kyseiseen filttärintikategoriaan kuuluvat. [1.]

*Secondary member filteriin* kannattaa asettaa valinnaksi *none*. Tällöin *Tekla* ei koeta itse päätellä, mitkä osat ovat sekundäärisiä. Sekundäärien omatoiminen asettaminen saattaa heikentää analyysimallin toimintaa, sillä sekundääriosien pääty pisteet voivat hakeutua automaattisesti lähimpiin solmupisteisiin. [1.]

*Member axis location* kannattaa asettaa *reference axis* -asetukselle. Tällä asetuksella analyysisauvat tulevat suoraan rakenneosan referenssiakselille, mikä helpottaa suuresti tarkkaa mallintamista. Palkkien ja pilareiden sijoittelu referenssiakselin suhteen kannattaa tehdä osakohtaisesti, osan ominaisuuksien *Position* välilehdeltä. Elementit tulisi mallintaa puristetuilla ja vedetyillä osilla vetojäykkyysskeskiöön ja poikittaisilla kuormituksilla kuormitetuilla osilla vääntökeskiöön. [1.]



Kuva 2. Analyysimallin pääasetusvalikko

*Analysis application* -kohdasta valitaan siirtoformaatti, jolla *Tekla* luo analyysimallin. *Teklan* omilla oletustyökaluilla analyysimallia voi siirtää vain IFC-muodossa, mikä ei ole tämän insinööriyön kannalta oleellista. Lisäosan asentamisen jälkeen listasta löytyy myös *Autodesk Robot Structural Analysis (1.54)* -valinta, jolla malli siirtyy suoraan *Robotiin*. Lisää valintoja ja siirtoformaatteja voidaan *Teklaan* asentaa muiden ohjelmien siirtotyökaluilla. Lisää siirtotyökaluja löytyy *Teklan* Extranetistä.

*Member end release method by connection* määrittelee, muokkaavatko makrot ja liitoskomponentit liittyvien analyysisauvojen päiden kiinnitysasteita. Oletuksena asetus on pois päältä, jolloin päiden vapautusasteet eivät muutu liitosten mukaan.

## 4 Mallintaminen

### 4.1 Filtteröinti

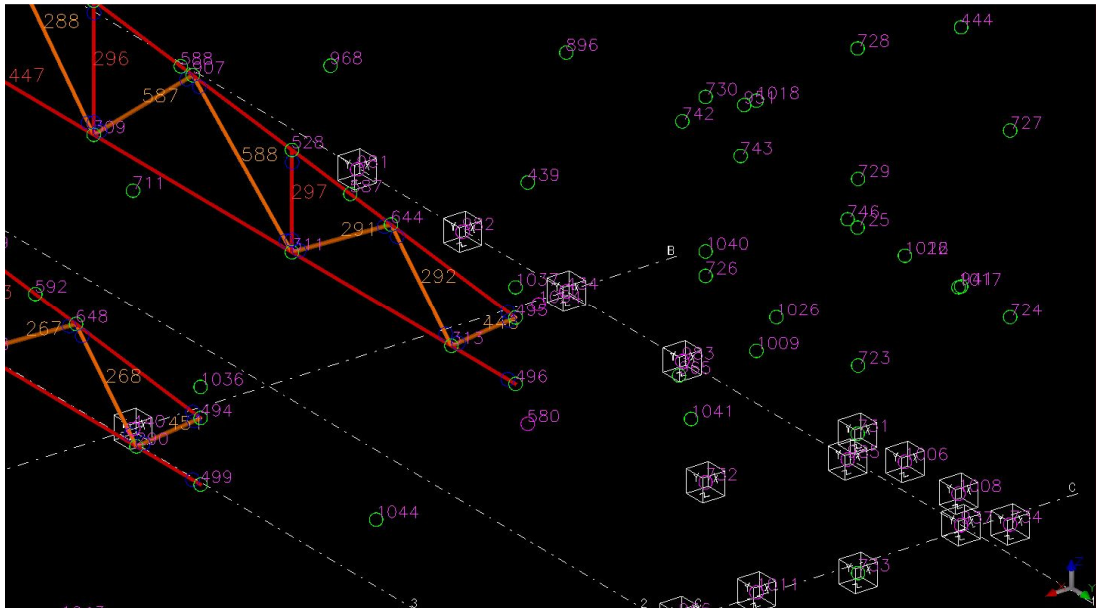
Joissain tapauksissa on tarpeellista tarkastella vain osaa mallista. Esimerkiksi kaiteet ja muut sekundääriset rakenteet ja varusteet, joilla ei ole vaikutusta rakenteelliseen kestävyyteen, on hyvä poistaa analyysimallista ennen laskentaa. Myös esimerkiksi erillisen laiterakenteen suunnittelussa kokonaisen suuren mallin laskeminen ei ole tehokasta ja tarpeellista.

*Teklassa* analyysimallin filtteröinti tapahtuu mallin ominaisuusvalikosta mallia luodessa. Filtteröinnin voi tehdä kahdella tapaa: joko luomalla analyysimallin vain valituista osista tai asettamalla mallin luomiseen valmiit arvot. Valmiiden valinta-arvojen luomiseen käytetään mallinnustilan *Selection Filteriä*, jonne tallennetut valmiit arvoryhmät näkyvät analyysimallin ominaisuuksien *Filter*-valikossa.

*Teklan* puolella filttiä kannattaa kuitenkin käyttää tarkasti, sillä analyysimallia luodessa *Robottiin* näkymäfiltteröinnin ulkopuolella olevat rakenteet ovat mukana mallissa, mutta eivät ole näkyvissä ruudulla.

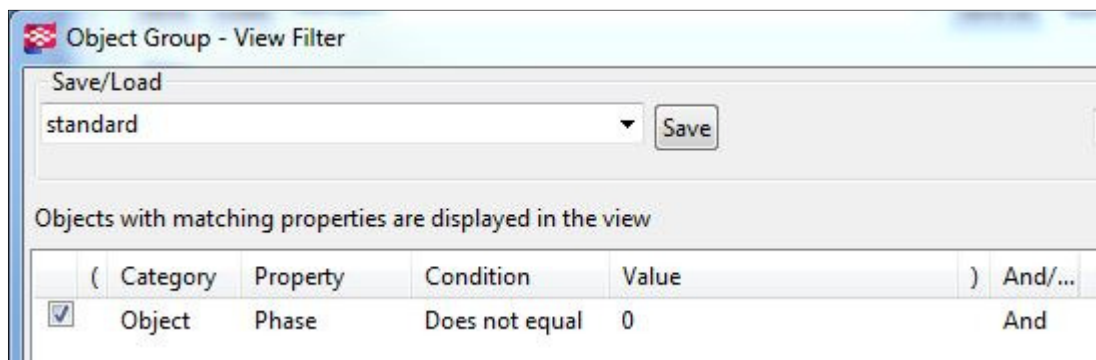
### 4.2 Näkymäfiltteröinti

Analyysisauvoja voi filtteröidä näkymästä myös sauvojen normaalin näkymäfiltterin kautta. Analyysisauvat näkyvät niistä sauvoista, jotka ovat näkyvissä rakennemallinkin puolella. Näkymäfiltteri ei kuitenkaan vaikuta solmupisteiden ja tukien näkymiseen, joten jos pisteitä tarvitsee näkyviin, on suuremmissa malleissa syytä käyttää leikkaustasoja epäoleellisen informaation piilottamiseen.



Kuva 3. Pelkkä näkymäfiltteri ei poista solmupisteitä näkyvistä

Solmupisteiden ja sauvojen numeroinnit voi poistaa kokonaan näkyvistä **Options** -> **Advanced Options** -> **Analysis & Design** valikosta muuttamalla kohtiin XS\_AD\_NODE\_NUMBER\_VISUALIZATION ja XS\_AD\_MEMBER\_NUMBER\_VISUALIZATION kohtiin arvoiksi FALSE. Solmupisteet kuitenkin jäävät näkyviin, vaikka niihin liittyvät analyysiosat ja arvot olisivatkin piilotettuina. Analyysisauvat ja solmupisteet saa näkymättömiin mallinnusnäkymästä filteröimällä *Objecteista* pois *phasen* nolla. [2.]



Kuva 4. Analyysisauvat filteröidän objectien phasella 0

### 4.3 Sauvojen analyysiasetukset

Analyysisauvan asetukset laskentaa varten voidaan asettaa analyysitilassa sauvojen *properties* -valikosta. Analyysimallissa on eri asetusvalikot pilari- ja palkkiosille. Pilariosien esiintyminen on kuitenkin melko sattumanvaraista ja osalla pystysuorista osista analyysisauvan tyyppi on *beam column*in sijaan. [2.] Tämä kannattaa ottaa huomioon tehdessä suurella valintajoukolla muutoksia samaan aikaan. *Beam analysis properties* -valikosta tehdyt muutokset eivät vaikuta *column*-tyyppisiin analyysiosiin ja sama toisin päin.

Tärkeimpänä valintana teräsosien analyysissä on analyysisauvan tyyppi. Tyypillä määritetään, miten analyysisauva käyttäytyy analyysissä. Tyypit eivät välttämättä vastaa oikeaa rakennetta, vaan sitä, miten sauvan halutaan käyttäytyvän rakennetta mitoittaessa. Sauvojen tyypit erottaa helposti toisistaan analyysimallista eri väreistä, jotka merkkavat erilaisista analyysisauvatyyppeistä. Teräsrakenteissa käytettävät tärkeimmät tyypit on selitetty taulukossa 1 (taulukko 1). Käytettävän laskentaelementin tyyppi asetetaan *Class*-asetuksesta. [1.]

*Beam* ja *Column* -asetuksella luodaan perussauvoja, jotka voivat ottaa vastaan kaikkia malliin asetettuja voimia: vetoa, puristusta, taivutusta ja vääntöä. Osat ottavat vastaan myös lämpökuormista aiheutuvia rasituksia, mikäli niitä on malliin asetettu. *Column*-asetuksella sauvan alkupää on oletuksena asetettu *supportediksi connected*in sijaan.

*Secondary*-asetuksella luotavat sauvat ottavat myös vastaan kaikkia kuormia, mutta *Keep Axis position* -asetus on oletuksena pois päältä ja osat tarttuvat automaattisesti lähimpään solmupisteeseen. Lisäksi primääriosat eivät tartu sekundääriosiin. [1.]

*Truss*-asetuksella osat ottavat vastaan vain veto- ja puristusvoimia, ei taivutusta tai vääntöä. Osat voidaan asettaa myös ottamaan vastaan joko pelkkää vetoa tai pelkkää puristusta. [1.]



Taulukko 1. Analyysiosien *Class*-valikon selitykset [1.]

Valinta	Kuvaus	Väri
<b>Beam</b>	Kahden tai useamman solmupisteen välinen suora linjaobjekti. Voi ottaa minkä tahansa kuorman, myös lämpökuorman.	Punainen
<b>Column</b>	Pystysuora kahden tai useamman solmupisteen välinen suora linjaobjekti. Mallinnetaan alhaalta ylöspäin. Voi ottaa minkä tahansa kuorman, myös lämpökuorman.	Punainen
<b>Secondary</b>	Kahden tai useamman solmupisteen välinen suora linjaobjekti. Voi ottaa minkä tahansa kuorman, myös lämpökuorman. <i>Secondary</i> iksi määritelleissä osissa <i>keep axis position</i> asetus on oletuksena pois päältä ja osat tarttuvat aina lähimpään solmupisteeseen sauvan päiden solmupisteiden sijaan.	Oranssi
<b>Truss</b>	Osa ottaa vastaan vain aksiaalivoimia, ei taivutusta, kiertomomenttia tai leikkausvoimia. Käytetään yleensä jäykisteille.	Vihreä
<b>Truss - Tension only</b>	Osa ottaa vastaan vain aksiaalisia vetovoimia, ei taivutusta tai leikkausvoimia. Jos osa menee laskennassa puristukseen sitä ei oteta huomioon. Ei mahdollista asettaa pilariosille. <sup>1)</sup>	Pinkki
<b>Truss - Compression only</b>	Osa ottaa vastaan vain aksiaalisia puristusvoimia, ei taivutusta tai leikkausvoimia. Jos osa menee laskennassa vetoon sitä ei oteta huomioon. <sup>1)</sup>	Keltainen
<b>Ignore</b>	Osaa ei oteta huomioon analyysissä. Osan omapaino otetaan huomioon, jos se on asetettu osan asetuksissa päälle.	Ei näytetä

1) Veto- tai puristussauvojen lisääminen tekee elementtimallista epälineaarisen.

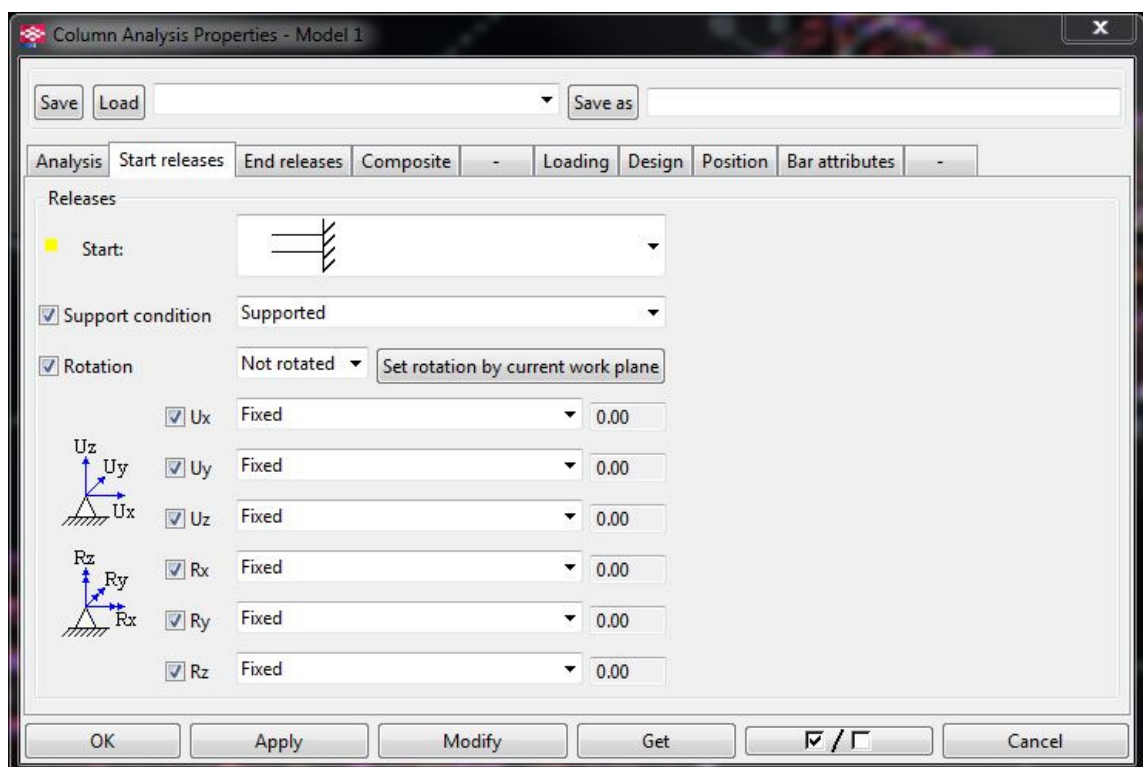
*Ignore*-asetuksella sauva ei oteta huomioon laskennassa voimia vastaanottavana komponenttina. Osan omapaino kuitenkin otetaan huomioon laskennassa, jos se on sauvan asetuksista asetettu huomioon otettavaksi. *Ignore*-asetuksella näkymättömiin laitettut osat saa näkyviin, klikkaamalla rakennemallin puolelta haluttua osaa hiiren oikealla näppäimellä ja vaihtamalla osan analyysiasetuksista osan tyyppiä. [1.]

*Automatic update* -kohdasta voidaan määrittää, muuttuuko analyysisauva automaattisesti samalla, kun rakennesauvaa muutetaan.

Kahdelta seuraavalta sivulta voidaan määrittää analyysisauvan päätepisteiden jäykkyys- ja liitântäasetuksia. Alku- ja loppupään päätepisteille on molemmille oma asetusvälilehtensä. Liittymätyypin voi valita alasvetovalikosta joko valmiiksi kokonaan jäykäksi ja täysin vapaaksi liitokseksi tai tueksi. Kiinnitysasteita voi liikkeelle ja kiertymälle säätää myös käsin alla olevista kentistä. Vapautusasteiden suunnat ovat sauvan lokaalin koordinaatiston suuntaisia. *Teklan* sauvaosien lokaalikoordinaatisto ei välttämättä vastaa eurokoodin mukaista osan lokaalia koordinaatistoa. Suuntien vapautukset voidaan asettaa samoista kohtaa myös jousimaisiksi. [2.]

*Support condition* -asetus on määrittää, liittykö sauvan pää toiseen sauvaan vai päättykö sauva tukeen. Tuntojen koordinaatistosuunnat ovat mallin globaalissa koordinaatiston mukaiset

*Rotation* -asetus on vain pylväiden alkupäille. *Rotated*-valinnalla voidaan kiertää sauvan sisäisen koordinaatiston suuntaa.



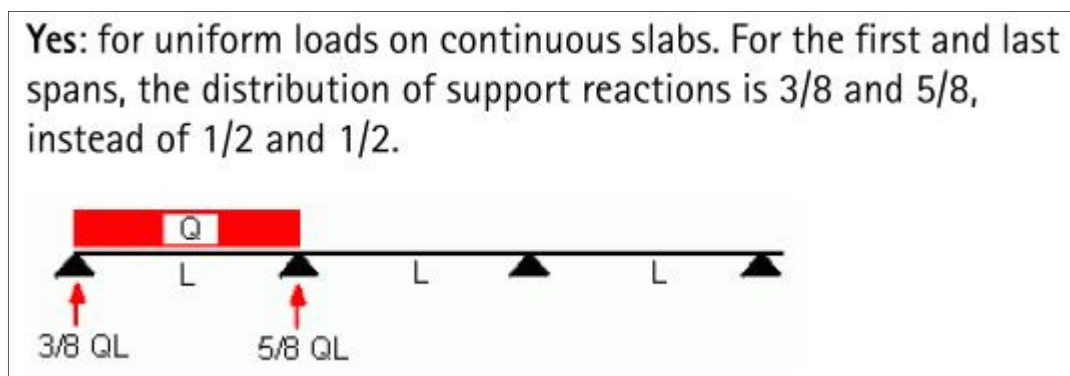
Kuva 5. Analyysisauvojen alku- ja loppupisteiden jäykkyysasetukset

Loading-välilehdeltä voidaan vaikuttaa rakenneosan aiheuttamiin kuormiin. *Generate self weight load*, luo rakenneosan omapainon, joka otetaan huomioon laskennassa.

Valinta *No* toimii kuitenkin vain, jos rakenneosan analyysityyppi on *Ignore*. Jos osa on mukana rakennemallissa, otetaan myös sen omapaino huomioon laskennassa.

*Additonal loads* -kohdasta voi asettaa osiin ylimääräisiä lisäkuormia. Lisäkuormien suunta määräytyy lisäkuormalle asetetun kuormaryhmän mukaan.

*Use continous structural load distribution* -valinta jakaa moniaukkoisen palkin jatkuvan kuorman suurimalta osalta keskituille. Jatkumattomalla palkilla kuormat jakaantuvat aukon tukien suhteen tasaisesti yhtä suurina.



Kuva 6. Jatkuvan kuorman jakaantuminen moniaukkoisen palkin reunimmaisessa osassa [1.]

Teräsosien mitoituksessa käytettävät arvot voidaan asettaa suoraan *Teklassa* analyysiosille. Analyysissa käytettävät arvot löytyvät analyysiosan ominaisuuksista välilehdeltä *Design. Analysis* valikosta löytyvät asetukset muun muassa sauvojen nurjahdus- ja kiepahduslaskentaa varten. Samasta valikosta voidaan asettaa myös taipumarajat käyttötilamitoitusta varten. Valikosta ei kuitenkaan voi asettaa palomitoitukseen liittyviä asetuksia, vaan palomitoitus on tehtävä *Robotin* asetuksia käyttäen.

#### 4.4 Mallintaminen valmistuksen kannalta

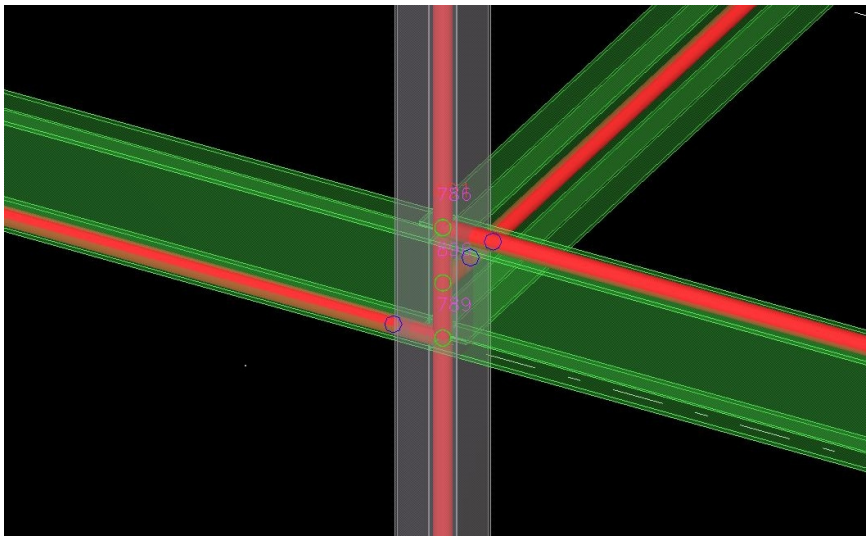
##### 4.4.1 Palkin sijoittaminen analyysisauvan suhteen

Yhden mallin mallintamisessa osien sijoittamis- ja siirtämistavoilla on todella suuri vaikutus mallin toimintaan. Kaikessa mallintamisessa täytyy olla mielessä analyysimallin toiminta ja analyysisauvojen sijoittuminen. Muutostilanteissa myös kuormien säilymiseen pitää kiinnittää aina huomiota.



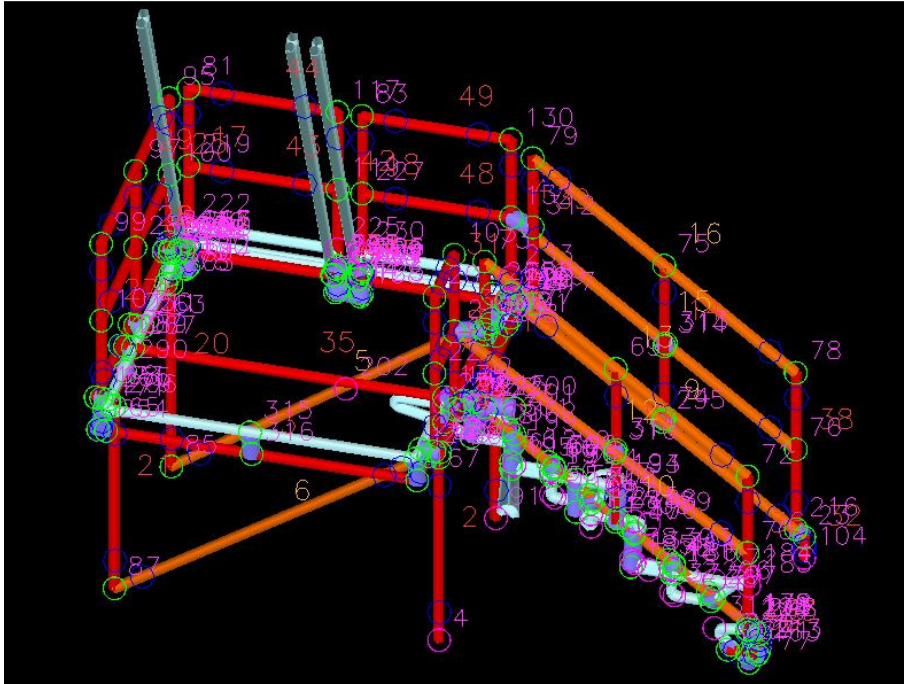
sauvojen asetuksista *offsetiä* käyttäen. Tämä saattaa kuitenkin joissain tapauksissa johtaa liitosmakrojen ja -komponenttien toimimattomuuteen.

Sauvoja asettaessa pitää ottaa myös huomioon sauvojen analyysiasetuksista, miten analyysisauva on asetettu sijoittumaan rakenneosan suhteen. Oletuksena analyysisauva tulee rakenneosan vetojäykkyysskeskiöön, mutta sijoittumista voidaan vaihdella analyysisauvan asetuksista. Analyysisauva voidaan sitoa rakenneosan jokaiseen sivuun, referenssiakseliin tai neutraaliakseliin. Neutraaliakseliin sidotun sauvan paikka voi vaihtua osan profiilia vaihtamalla.



Kuva 8. Väärin siirrettyjen palkkien keskilinjat voivat poiketa tahdotusta

Analyysiä hyödyntävään mallintamiseen täytyy asennoitua mallintamisessa alusta lähtien. Osien luominen ja siirtely analyysiominaisuuksista välittämättä johtaa rakenteisiin, joita on mahdoton laskea. Rakenteissa saattaa olla useita osia, jotka eivät ole rakenteen lujuuden kannalta oleellisia, ja rakenteet saattavat liittyä toisiinsa haluamattomalla tavalla. Myös laskennan kannalta oleellisten osien analyysityyppi saattaa olla asettunut täysin väärällä tavalla.



Kuva 9. Rakenneosa, joka on mallinnettu analyysiominaisuuksista välittämättä

#### 4.4.2 Sauvojen muokkaaminen

Sauvojen muokkaamisen kanssa kannattaa käyttää erityistä tarkkuutta, missä mallin-  
nuskymässä muokkauksen tekee. Analyysimallissa tehdyt muutokset eivät siirry ra-  
kennemallin puolelle varsinaisiin rakenteisiin, vaan jäävät pelkästään senhetkiseen  
analyysimalliin, kun taas rakennemallin puolella tehdyt muutokset vaikuttavat aina ra-  
kennemallin sauvoihin ja solmupisteisiin. Rakennemallin puolella tehty millinkin siirto  
sauvan alku- tai loppupisteeseen muuttaa analyysisauvan takaisin rakennesauvan mu-  
kaiseen asentoon, jos analyysisauvaa ei ole asetettu muuttumattomaksi.

Sauvojen mallintamisasetuksista, kohdasta *Automatic Update*, voidaan säätää, miten  
analyysisauva reagoi rakennemallin muutoksiin. Asetuksella *Yes* analyysisauva muok-  
kautuu rakennesauvan mukaisesti aina rakennesauvaa muuttaessa. Asetuksella *No*  
analyysisauva pysyy siinä paikassa, jossa se on asetushetkellä ollut ja siirtyy vain ana-  
lyysitilassa manuaalisesti muokkaamalla.

#### 4.4.3 Makrot ja liitokset

Monet *Teklan* liitoksista luodaan mallintamistilassa makrojen avulla. Makrojen tapa näkyä analyysissä riippuu sen valmistajasta. Useimmissa makroissa on oletuksena täysin jäykkä liitos tai täysin jähkkä tuenta. Liitostyyppiä voi vaihtaa makron asetusten Analysis-välilehdeltä. Useimmissa makroissa analyysiasetusten vaihtaminen vaikuttaa vain liitoskohtaa tulevien solmupisteiden arvoihin, eikä makrojen luomia levy- ja muita osia oteta liitoksen analyysissä sen tarkemmin huomioon. Makrojen tekemät muutokset siirtyvät analyysisauvaan kuitenkin vain, jos analyysimalliasetuksissa on asetus *Member end release method by connection* valinnalla *Yes*. Oletuksena asetus on pois päältä. [2.]

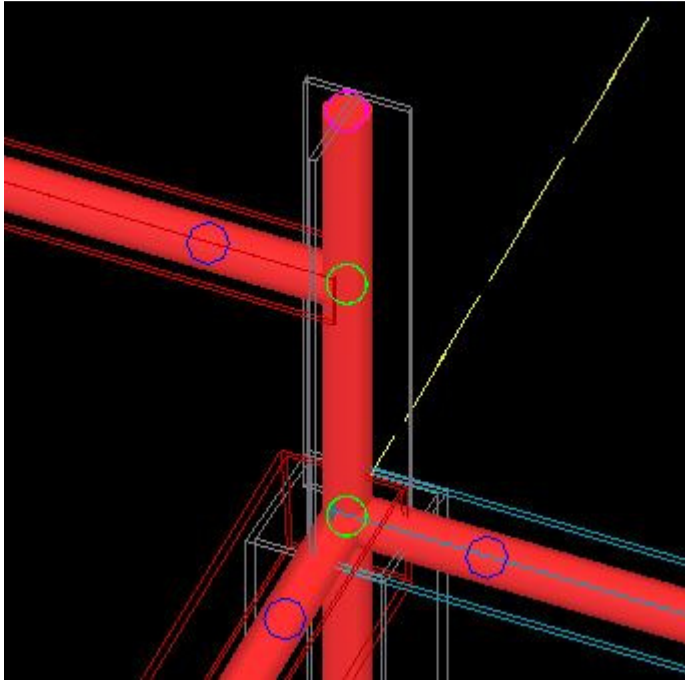
Jotkut liitokset osaavat laskea jousivakion omalle liitostyypilleen, joten liitoskomponenttien avulla on mahdollista myös ns. puolijäykkien liitosten analysointi, jos liitosten vapautusten muokkaus on mahdollistettu.

Jos komponentteja käytetään mallin liitosten luomiseen ennen laskennan ja analyysin valmistumista, täytyy jokaisen komponentin kohdalla tarkistaa miten kyseinen komponentti vaikuttaa analyysimalliin.

Jos liitoksi valmistetaan käsin, tulevat kaikki osat analyysimalliin, kuten suurempiakin osia mallintaessa. Esimerkiksi useimmille levyosille liitoksissa kannattaakin asettaa analyysityypiksi *ignore*, jolloin näiden painot huomioidaan laskennassa, mutta malliin ei tule ylimääräisiä pieniä osia sotkemaan liitoksen laskentaa turhan takia.

#### 4.5 Solmupisteet

Mallintaessa analyysiosia *Tekla* luo solmupisteitä automaattisesti sauvojen päihin ja risteämiskohtiin. Siirrettäessä mallia *Teklasta Robotiin Robot* käyttää samoja solmupisteitä ja solmupisteille asetettuja arvoja, kuin *Teklassa*. Mallissa solmupisteet, joihin on liittynyt enemmän kuin yksi analyysisauva, näkyvät vaaleanvihreinä. Irtonaiset solmupisteet taas näkyvät mallissa violetteina. *Teklan* ja *Robot* -mallien solmupistenumerot ja sauvanumerot vastaavat mallinsiirron jälkeen toisiaan.



Kuva 10. *Teklan* analyysiosien solmupisteitä.

Solmupisteisiin voi tehdä asetusmuutoksia tuplaklikkaamalla solmupistettä tai valitsemalla solmupisteen asetukset oikealla hiiren näppäimellä. Solmupisteiden asetuksista voi määrittää solmun tueksi ja määrittää tuennan vapautusasteet globaalissa koordinaatistossa. Jos solmu asetetaan tueksi, voidaan solmun liikettä ja kiertymistä hallita. Oletuksena solmut ovat asetettu *Get supports from part(s)* -asetukselle, jolloin solmupiste liikkuu ja kiertyy vapaasti joka suuntaan rakenteen mukana. Jos osalla ei ole vapautuksia, solmun tuenta vaikuttaa suoraan osan pään vapautusasteisiin.

Suurissa malleissa solmupisteet joskus jäävät irrallisiksi, varsinkin jos pilarin tai sauvan päätysolmu kohtaa toisen sauvan keskellä sauvaa. Solmupisteet voi korjata yhtenäisiksi valitsemalla analyysimallinnustyökaluista *Add node* -toiminnon ja lisäämällä sen irtolaisen solmun päälle. *Teklan* analyysimallivalikosta löytyvä *Rebuild* -toiminto auttaa myös usein näiden irrallisten solmujen liittämisessä, mutta isoissa malleissa jotkut solmupisteet voivat silti jäädä irrallisiksi. Solmut tulisikin ennen analyysimallin ajamista tarkistaa läpi irrallisten solmujen varalta. Manuaalisesti tarkistaminen on erittäin työlästä. Tarkistusta varten voidaankin ohjelmoida työkalu, joka tarkistaa ja liittää irralliset solmupisteet yhteen. Työkalusta on kerrottu lisää liitteessä kaksi (liite 2) [2.]



#### 4.6 Rigid links

*Rigid Linkit* ovat jäykkiä kytkentöjä, joita voidaan asettaa kahden erillisen solmupisteen välille. *Rigid linkit* kiinnittävät kaksi solmupistettä toisiinsa ja estävät näiden liikkeen toistensa suhteen kiinnitetyissä vapausasteissa, mutta eivät muuten vaikuta rakenteen laskentaan esimerkiksi tuomalla ylimääräisiä painoja mallin. Toisin kuin *Robotin coupling*-toiminto, joka sitoo kahden solmupisteen vapautussateet yhteen, *rigid link* toimii kuten erittäin jäykkä palkki. *Teklassa Rigid linkkeihin* mallinnettavilla osilla on seuraavat ominaisuudet:

- Tiheys: 0.0
- Kimmokerroin:  $100 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
- Poissonin vakio: 0,3
- Lämpölaajenemiskerroin: 0.0 1/K

Siirrettäessä *Robottiin*, *Teklan Rigid linkit* muuttuvat automaattisesti suoraan *Robotin Rigid linkeiksi*. *Rigid linkkien* sijoittamisessa pitää olla tarkkana, jos linkin pää jää irti sauvasta, voi rakenne olla irtonainen *Robotinkin* puolella. [1.]

#### 4.7 Johtopäätökset

Mallintaminen analyysin kannalta vaatii paljon enemmän tarkkuutta ja kurinalaisuutta kuin pelkkä rakennemallintaminen. Pelkkien rakenteiden kannalta mallintaessa sauvoja voi siirrellä melko vapaasti paikasta toiseen referenssilinjojen sijainnista ja suunnista välittämättä. Analyysimallia tehdessä täytyy aina kuitenkin ottaa huomioon analyysiosan sijainti ja liittyminen ympäröiviin rakenteisiin. Sauvojen päätepisteiden siirtäminen vapaasti raahamalla vanhalla tavalla aiheuttaa todennäköisesti suuria vääristymiä analyysin tuloksiin tai mahdollisesti koko analyysimallin toimimattomuuden.

Mallinsiirrossa tulee myös aina ottaa huomioon mallin oikeellisuus ennen laskentaan siirtymistä. *Teklassa* on vielä joitain puutteita, jotka saattavat johtaa esimerkiksi irrallisiin solmupisteisiin. Nämä tulisikin aina tarkistaa ennen laskentaan ryhtymistä.

*Robot* tukee *Teklaan* tehtyjä offsettejä sauvoille, joten esimerkiksi epäkeskeisten liitosten tekeminen onnistuu siirtolisäosan avulla.

## 5 Kuormitukset ja liitokset

Kuormat mallinnetaan tässä työssä referenssimallin kuormia seuraten ja hyväksikäyttäen. Koska tarkoitus on saada uusilla mallintamistavoilla samoja tuloksia kuin vanhoilla työskentelytavoilla, ei kuormien uudelleen laskeminen ole opinnäytetyön lopputuloksen kannalta oleellista eikä mahdollisten virheiden takia suotavaakaan.

### 5.1 Kuormitukset mallissa

Rakennukseen vaikuttavat kiinteät kuormat:

- Teräsrakenteiden omapaino
- Katto:  $0,6 \text{ kN/m}^2$  Kattorakenteen omapaino
- Seinät:  $3,0 \text{ kN/m}^2$  Seinärakenteen (Tiili) omapaino  
 $0,4 \text{ kN/m}^2$  seinärakenteen (Paroc) omapaino
- Välipohja:  $7,0 \text{ kN/m}^2$  Ontelolaatat + betoni
- IV-koneisto katolla:

Rakennukseen vaikuttavat muuttuvat kuormat:

- IV-koneiden hyötykuorma:  $5 \text{ kN/m}^2$
- Tasojen hyötykuormat:  $2,5 \text{ kN/m}^2$
- Myymälätilan katon ripustuskuormat:  $0,3 \text{ kN/m}^2$  alapaarteet ja  $0,6 \text{ kN/m}^2$  yläpaarten nurjahdussiteet
- Toimistotilan kattopalkkien ripustuskuormat:  $0,8 \text{ kN/m}^2$

Lumikuormat:

- Peruslumikuorman ominaisarvo:  $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$

- Muotokerroin:  $\mu_1 = 0,8$
- Muotokerroin:  $\mu_2 = 2,24$ ; Koostuu korotusosaa ja lauhdutinritilöitä vasten kinostumisesta
- Altistuskertoimet:  $C_e = 1,0$  ja  $C_t = 1,0$
- Peruslumikuorma katolla:  

$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$
- Maksimilisäkuorma kinostumisesta katolla:  

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,24 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \text{ kN/m}^2 = 5,6 \text{ kN/m}^2$$
- Peruslumikuormana käytetään +20% korotettuna  

$$s_1 = 1,2 \cdot 2,0 \text{ kN/m}^2 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

Tuulikuormat :

- Tuulen nopeus  $v_b = 21 \text{ m/s}$
- Maastoluokka on III
- Rakennuksien kattojen max. korkeusasema maaston pinnasta  $z = 12 \text{ m}$
- Perustuulenpaine  $q_p = 0.51 \text{ kN/m}^2$

Muut kuormat:

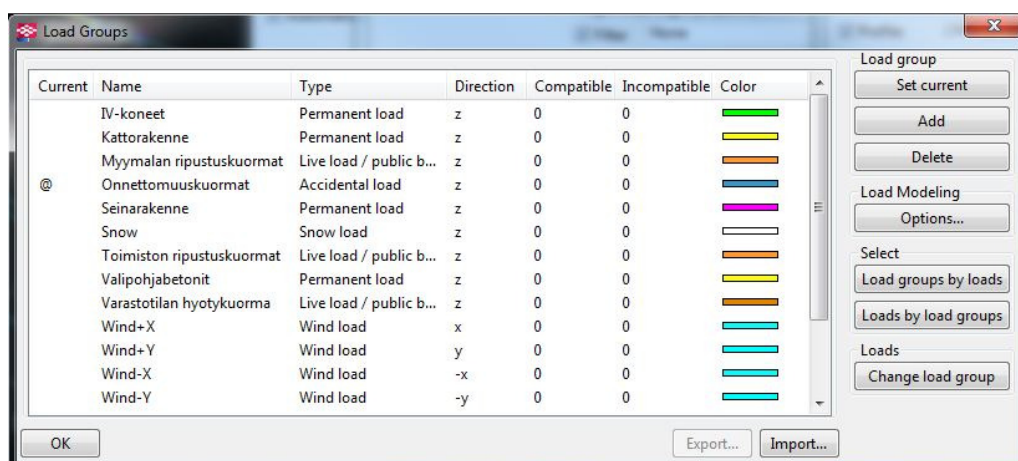
- Törmäyskuormat rakennusta tukeville pilareille ja seinille taajamateiden ja -katujen  
 Liikenteen suuntaan 500 kN  
 Liikennettä kohtisuoraan 250 kN
- Törmäyskuormat rakennusta tukeville pilareille ja seinille lastausalueella  
 Liikenteen suuntaan 150 kN  
 Liikennettä kohtisuoraan 75 kN

## 5.2 Kuormien mallintaminen

### 5.2.1 Kuormien ryhmittäminen

*Teklassa* kuormat luodaan eri peruskuormitustapauksiin. Kuormaryhmät voivat sisältää monia erillisiä samasta vaikutuksesta johtuvia kuormia, jotka vaikuttavat rakenteessa samaan aikaan. Kuormitusyhdistelmiä tehtäessä otetaan kuormat huomioon kuormaryhmittäin eikä yksittäisinä kuormina. Samassa kuormaryhmässä olevilla osakuormilla oletetaan laskennassa olevan samat varmuuskertoimet ja ne vaikuttavat aina samaan aikaan. Kuormaryhmiä voidaan luoda ja niiden asetuksia voidaan muuttaa *Load groups* -valikosta analyysityökalupalkista.

Kuormien ryhmittämisessä kannattaa suosia lyhyitä ja yksiosaisia nimiä. Pitkät nimet ja välilyönnit saattavat aiheuttaa ongelmia esimerkiksi kuormien filteröinnissä.



Kuva 11. Kuormaryhmien asetusvalikko

Kuormavalikossa asetetaan ryhmän nimi, valitaan kuorman tyyppi ja suunta, sekä mitkä kuormat kuormaryhmät toimivat yhteen toistensa kanssa. Ryhmien *compatibility*-valinta kertoo, mitkä kuormat voivat ja eivät voi esiintyä samaan aikaan toistensa kanssa.

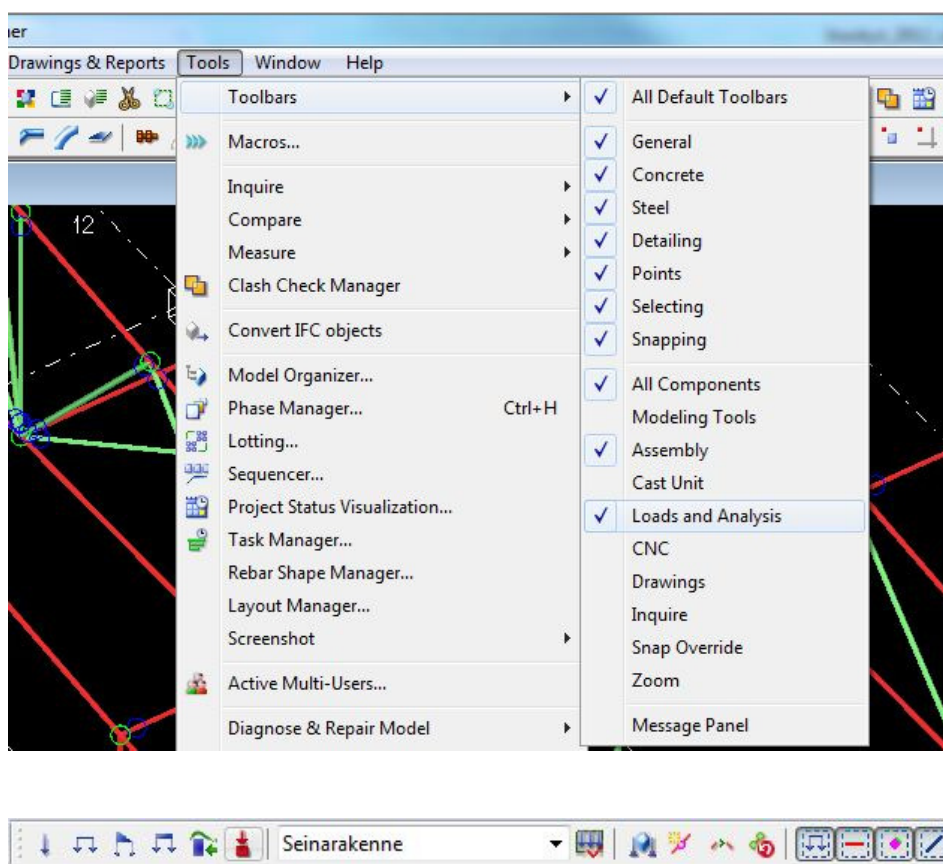
*Compatible*-kohdassa yhteensopivat kuormat luodaan kuormitusyhdistelyssä siten, että samassa *compatible*-numerossa olevat kuormat ovat kaikilla mahdollisilla yhdistelyillä mukana laskennoissa. Esimerkiksi, jos sama liikkuva kuorma voi luoda monenlaisia erilaisia kuormitustapauksia, voidaan kuormat luoda yhteensopivina. Tällöin esimer-

kiksi kolme yhteensopivaa kuormaa sisältävä ryhmä lasketaan siten, että kuormista on nolla, yksi, kaksi eri tai kaikki kuormat vaikuttavat samaan aikaan. [1.]

*Incompatible*-kohdassa samaan ryhmään merkityt kuormat rajaavat toisensa pois, jolloin jos joku kuorma on voimassa, toinen samassa ryhmässä oleva voima ei koskaan vaikuta. Kuormat merkitään samaan ryhmään laittamalla *incompatible*-kohtaan samat numerot. [1.]

Jotkut kuormitusryhmät *Tekla* olettaa suoraan olevan keskenään epäyhteensopivia. Esimerkiksi tuulikuormat eivät koskaan vaikuta eri suunnista samaan aikaan. Samoin pysyvät kuormat, kuten rakenteiden omapaino ovat automaattisesti voimassa kaikkien muiden kuormien kanssa. Valikossa oletuksena oleva arvo nolla (0) tarkoittaa, että *Tekla* käsittelee ryhmät oletuksena kuormitusyhdistelyissä kuten käytettävässä suunnittelukoodissa määritellään.

## 5.2.2 Kuormien lisääminen malliin



Kuva 12. Kuormanhallintatyökalupalkin lisääminen Tools -valikosta ja kuormatyökalupalkki

Kuormat voidaan *Teklassa* luoda samoilla tavoilla kuin monissa muissakin suunnittelu- ja laskentaohjelmistoissa. Kuormat voidaan mallintaa pistekuormina, viivakuormina, ja tasaisina tai vaihtelevina aluekuormina. Sen lisäksi *Teklassa* on työkalut tuulikuormien mallintamiselle ja lämpötilakuormien mallintamiselle. Tuulikuormatyökalua ei kuitenkaan suositella käytettäväksi sen luomien kuormien erittäin hankalan hallinnan takia. Kuormatyökalua hallitaan lähes täysin taulukkokenttäpohjaisesti työkalun käyttöliittymästä ja sen luomat suorakulmaiset kuormakentät käyvät vain harvoissa tapauksissa suoraan rakennukseen.

Kuormat on helpointa ja selkeintä mallintaa rakennemallinnustilassa siten, että rakenneosat ovat näkyvillä *Referencde line* -tilassa, jolloin kuormat saa suoraan asetettua osien referenssilinjoille. Kuormat voi myös muuten mallintaa rakennemallintamistilassa, mutta koska esimerkiksi tasokuormien jakautuminen tapahtuu tasoa leikkaavien osien suhteen, on tasojen asettelu paljon enemmän tarkkuutta vaativaa rakennemallintamisosien kolmiulotteisuuden takia. Referenssilinjatilassa sauvoihin kiinnitettävät kuormat on helpompi asettaa oikeille tasoille, koska snappaaminen tapahtuu sauvojen päihin suoraan sauvan referenssilinjalla. [2.]

Tasokuormat kannattaa luoda *Uniform load*n sijaan *Area load* -toiminnolla. *Uniform load*illa luoduilla monimuotoisilla kuorma-alueilla esiintyy usein puutteellisuuksia ja epäloogisuuksia kuormien jakaantumisessa, jos jakaantumisasetuksia ja jakaantumisosien filteröintiä ei ole määritetty hyvin tarkasti. Helpoimmalla kuormien mallintamisessa pääsee kun kuormat tekee *Area load* -työkalulla, ja jakaa kuormat pienempiin helpommin hallittaviin osiin, esimerkiksi kuormien kantosuuntien mukaan. *Area load*en mallintaminen on myös yksinkertaisempaa ja tarkempaa, koska työkalulla luodut kuormat mallinnetaan suorakulmion tai kolmion muotoisina kahdella tai kolmella pisteellä. [2.]

Kuormat voidaan sijoittaa itsenäisiksi malliin, tai kiinnittää tiettyihin rakenneosiin. Jos kuorma kiinnitetään osaan, se liikkuu osan mukana sitä siirrettäessä. Samoin jos osa kopioidaan, myös siihen liitetty kuorma kopioituu osan mukana. Osaan kiinnitetty kuorma myös katoaa, jos osa poistetaan. Kuormia ei kuitenkaan suositella kiinnitettäväksi osiin ilman hyvin pätevää toistuvaa tarvetta, jotta vältetään kopioituvien ylimääräisten kuormien luomat ongelmat.

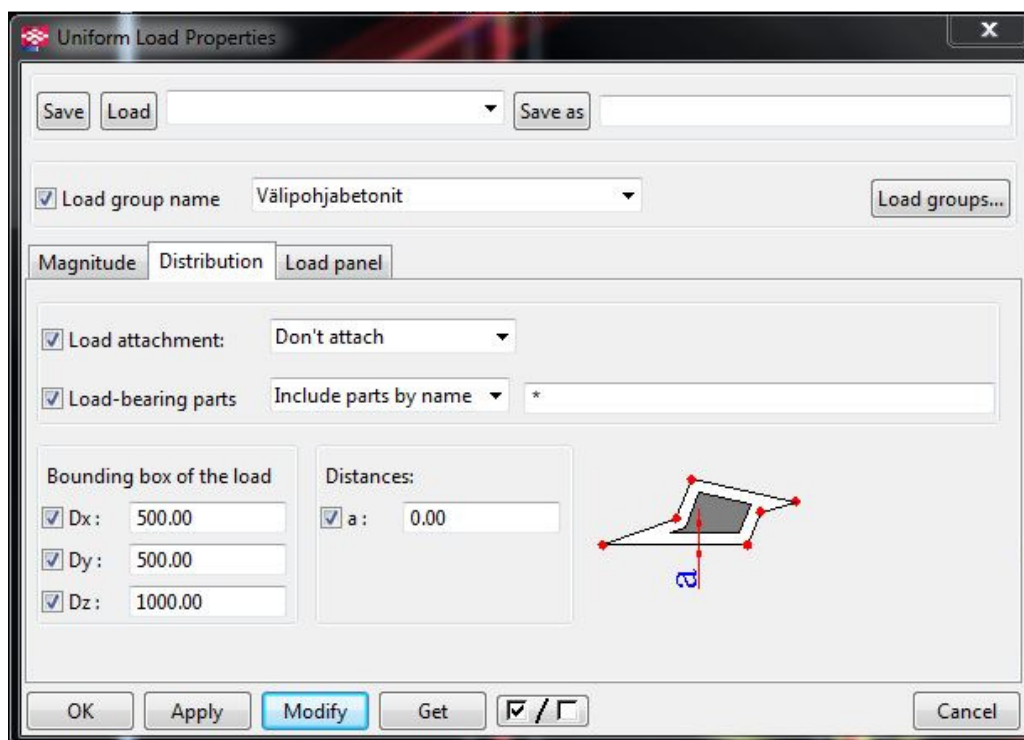
*Teklassa* on myös muutama työkalu helpottamaan joidenkin kuormien luontia. Tuulikuormageneraattorilla voidaan automaattisesti luoda reuna-alueet keskitetyille tuuli-

kuormille. Generaattori on kuitenkin käytännöllinen lähinnä suorakulmaisille rakennuksille, koska sen luomat kuormitukset ovat suorakulmaisia. Esimerkiksi kattojen harjakohdissa katon yli menevistä kuormista syntyy ylimääräisiä kuormia seinille.

### 5.2.3 Kuormien jakauttaminen

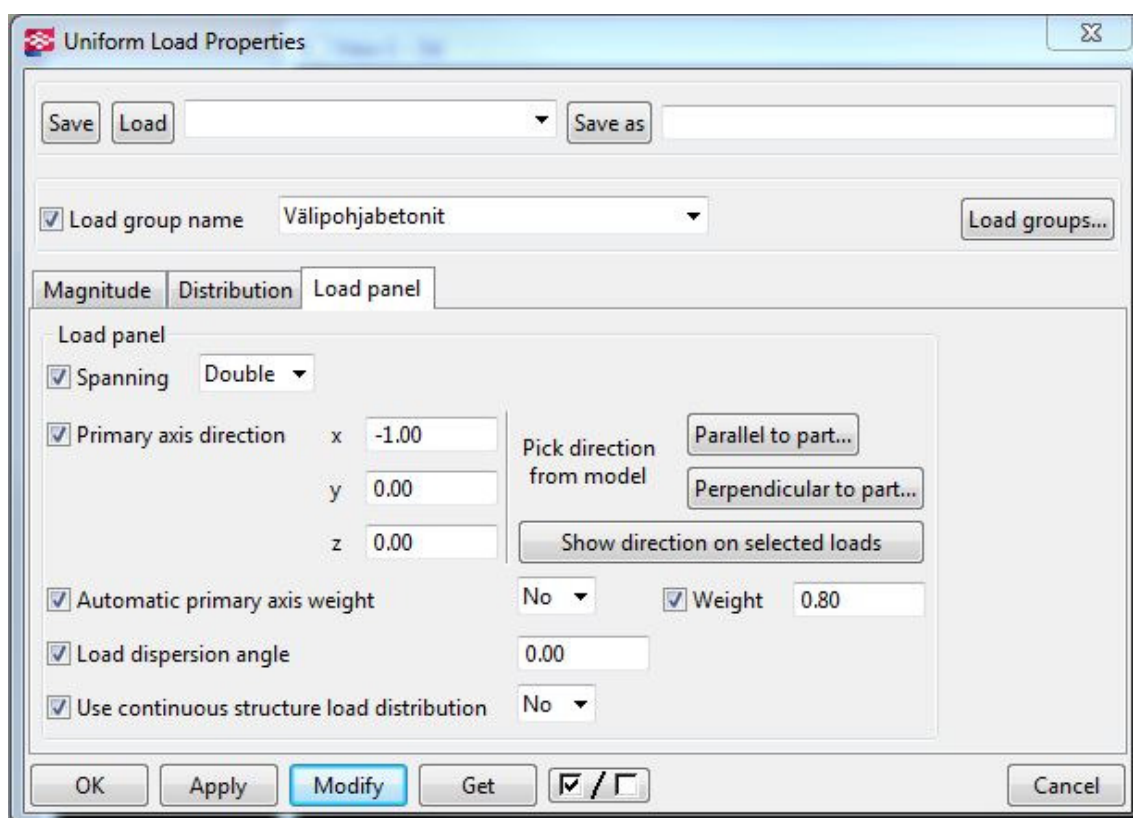
Tasokuormat jaetaan viivakuormiksi joko kaikille kuorman alueella oleville kantaville rakenneosille, tai vain halutuille osille. Kuormien jakautumista voidaan määrittää kuorma-asetusten *distribution*-välilehdeltä. Kuormia kantavat osat voidaan määrittää joko osien nimen mukaan tai osien valintasuodattimen mukaan. Molemmilla tavoilla osia voidaan joko lisätä tai poistaa kantavien osien joukosta.

Kuormien jakauttaminen on *Teklan* kuormamallintamisessa tärkeässä osassa, että kuormat siirtyvät *Robo*fin oikeille osille. Kuormien jakaantumista helpottamaan tarvitaan ositta uusia filtteriointiarvoja, joita ei ole käytössä nykyisessä mallintamiskäytännössä. Osia olisi hyvä saada filtteriöityä niille siirtyvien kuormien kantosuunnan mukaan. Tällöin oikeiden kantavien osien löytyminen mallinsiirtohetkellä ei olisi pelkästään jakaantumissuuntien määrittelyn varassa.



Kuva 13. Tasokuormien jakautumisasetukset

*Bounding box* -osiosta voidaan määrittää, miltä alueelta kuorman ympäriltä *Tekla* etsii kuormalle kantavia osia. Esimerkiksi Dz:n arvolla 1000 (mm) *Tekla* jakaa kuorman puolen metrin päässä ylä- tai alapuolella mallinnetusta kuormatasosta oleville kantaviksi määritetyille rakenneosille. Analyysiosien sijainnin kuormatason suhteen *Tekla* tarkastelee analyysisauvan keskipisteestä, joten jo muutamien millien heitot *bounding boxin* ulkopuolelle voivat vaikuttaa kuormien jakaantumiseen. *Bounding boxilla* voidaan myös hallita kuormien jakaantumista tapauksissa, joissa kuormat jakaantuvat ei-halutuille osille.



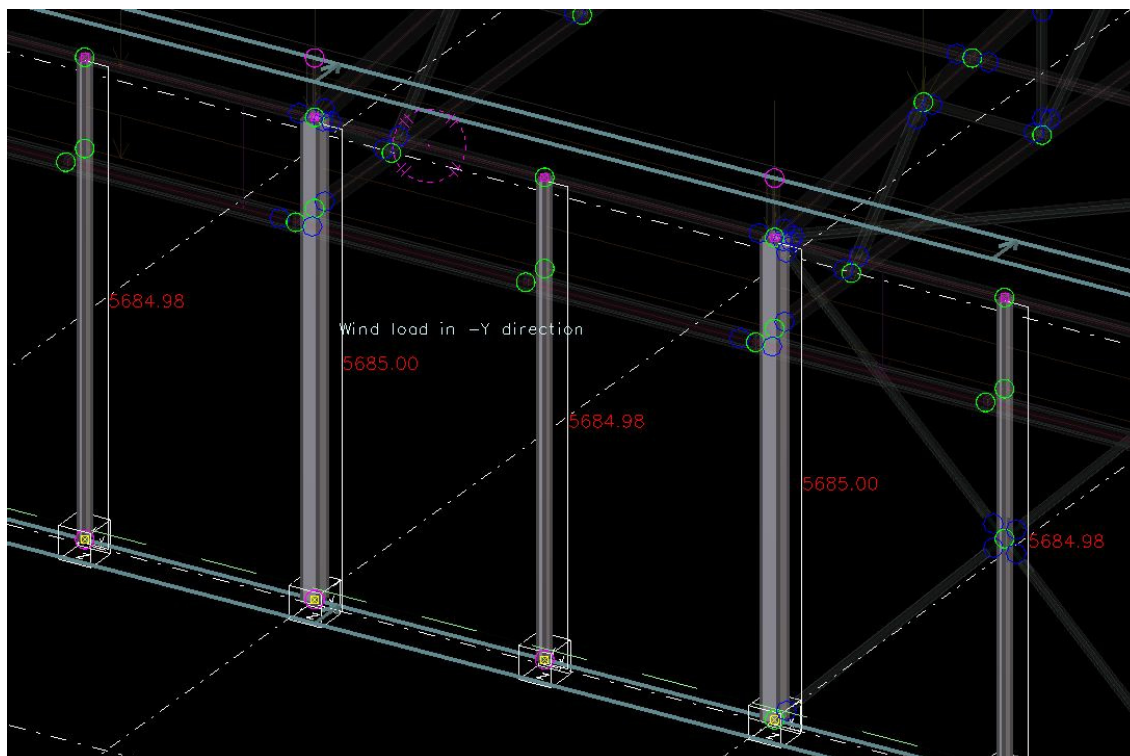
Kuva 14. Tasokuormien jakaantumisasetukset

*Load panel* -välilehdeltä, valinnasta *spanning*, voidaan aluekuormat asettaa kantaviksi kahteen tai yhteen suuntaan. Kantavat suunnat voi myös määrittää tältä välilehdeltä, tai sen voi asettaa määräytyväksi automaattisesti. Välilehden *weight*-kohdan pitäisi vaikuttaa kuorman jakautumiseen pää- ja toissijaisen akselin kesken, mutta kohtaa testatesa laskentamallin kuormien jakautumiseen ei saatu aikaa muutosta. Automaattisessa jakautumisessa kuormat jakaantuvat suhteessa jännevälien kolmansiin potensseihin. Pienemmille jänneväleille jakaantuu siis suurempi kuorma.



*Primary axis direction* muuttaa kuorman jakaantumisen pääasiallisen akselin suuntaa. Suunnat kuvaavat mallin koordinaatistoa.

Kuormien jakaantumisen voi tarkistaa mallista käyttämällä kuormaan *inquire*-toimintoa analyysimallin ollessa päällä. Osat joille kuorma jakaantuu korostuvat valinnalla näkymässä. Näkymän tehostamiseksi voidaan muut osat häivyttää näkymistä painamalla **Crtl + 5** ennen *inquirea*. [2.]

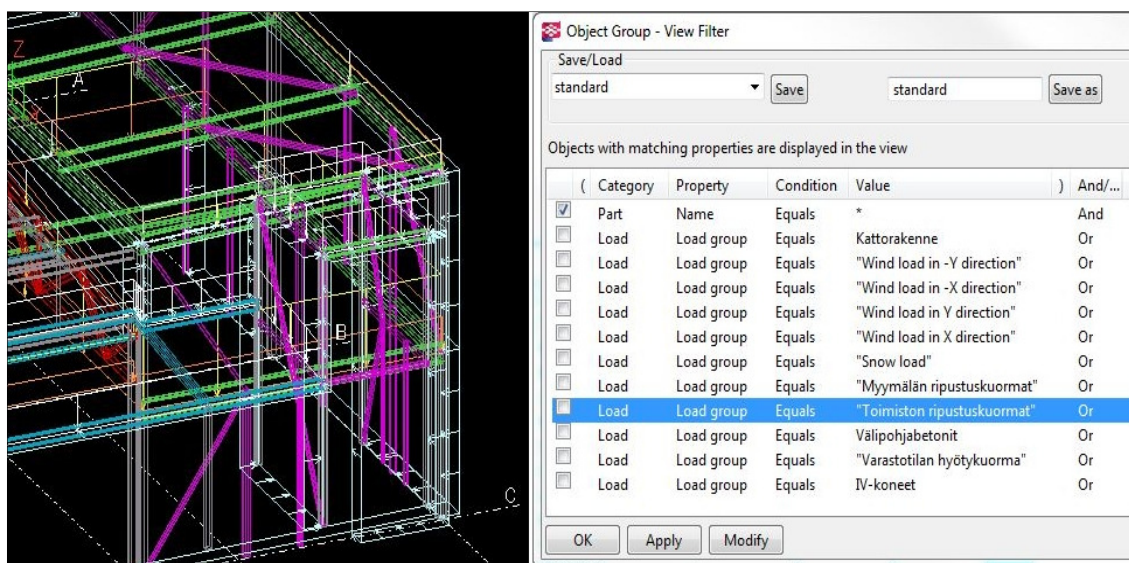


Kuva 15. Inquire-toiminto korostaa osat, joille kuorma jakaantuu

#### 5.2.4 Kuormien filttärointi

Isossa rakenteessa, jossa kuormia on useita, näkymä muuttuu nopeasti todella sekavaksi kuormitusten suhteen. *Tekla* ei myöskään skaalaa kuormia täysin lineaarisesti toistensa suhteen, joten samassa paikassa sijaitsevien erilaisten kuormien valitseminen voi mennä hankalaksi. Kuormille kannattaakin luoda mallin filttäreihin kuormafilteri kuormia mallintaessa, jolla kuormat voidaan asettaa näkyviin tai pois näkyvistä yksitellen.

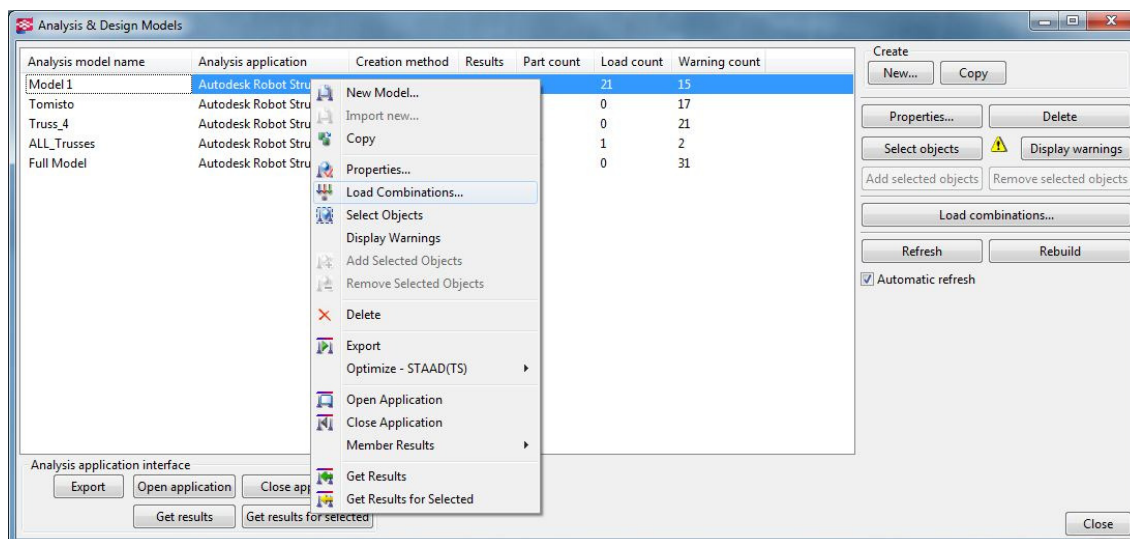
Monivaiheisissa rakenteissa kannattaa kuormafiltrit tehdä erikseen jokaiselle eri rakennevaiheelle, jolloin muiden vaiheiden rakenteet eivät ole häiritsemässä näkymää.



Kuva 16. Ilman kuormafiltereitä näkymä on sekainen

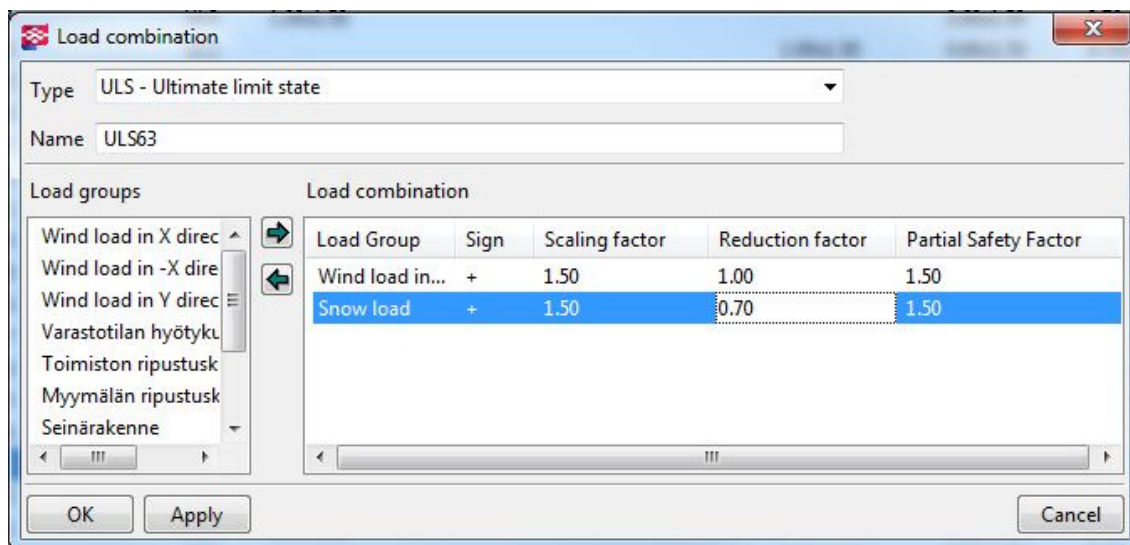
### 5.3 Kuormitusyhdistelmät

*Teklassa* kuormitusyhdistelmät voidaan luoda manuaalisesti itse yhdistelemällä ja asettamalla tarvittavat varmuuskertoimet tai automaattisesti, jolloin *Tekla* luo kuormitusyhdistelmät käyttäen valittua suunnittelukoodia ja asetettuja varmuuskertoimien ja yhdistelykertoimen arvoja. Kuormitusyhdistelmävalikko löytyy analyysimallivalikosta. Kuormitusyhdistelmät ovat analyysimallikohtaisia, ja ne täytyy asettaa erikseen jokaiselle erilliselle analyysimallille.



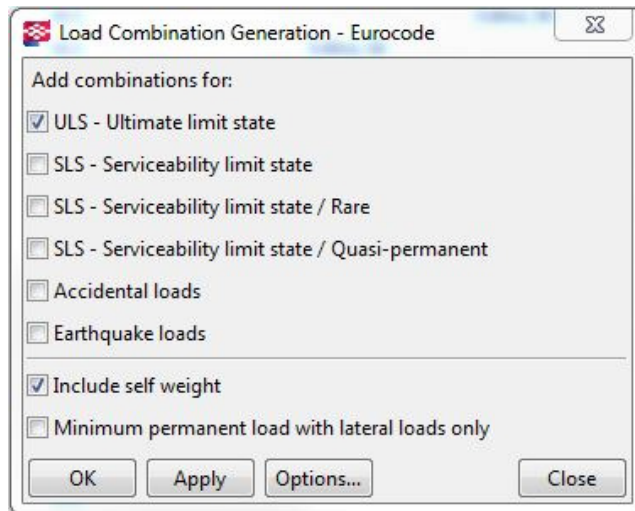
Kuva 17. Kuormitusyhdistelmävalikko löytyy analyysimallilistasta

Kuormitusyhdistelmät voidaan luoda myös perinteiseen tapaan käsin yhdistelemällä valmiiksi luotuja kuormaryhmiä. Tällöin varmuus- ja yhdistelykertoimet pitää asettaa jokaiselle kuormalle käsin aina kuormitusyhdistelyä luodessa.



Kuva 18. Kuormitusyhdistelmien käsin luomisen valikko

Kuormitusyhdistelmien automaattisen luomisen valikosta käyttäjä voi asettaa luodaanko kuormitusyhdistelmät vain murtorajatilasta vai liitetäänkö mukaan myös käyttörajatilatarkastelut, onnettomuuskuormat ja maanjäristyskuormat. *Options*-valikosta voidaan vaihtaa käytettävää suunnittelukoodia tai muokata käytettävän suunnittelukoodin varmuus- ja yhdistelykertoimia halutuiksi.



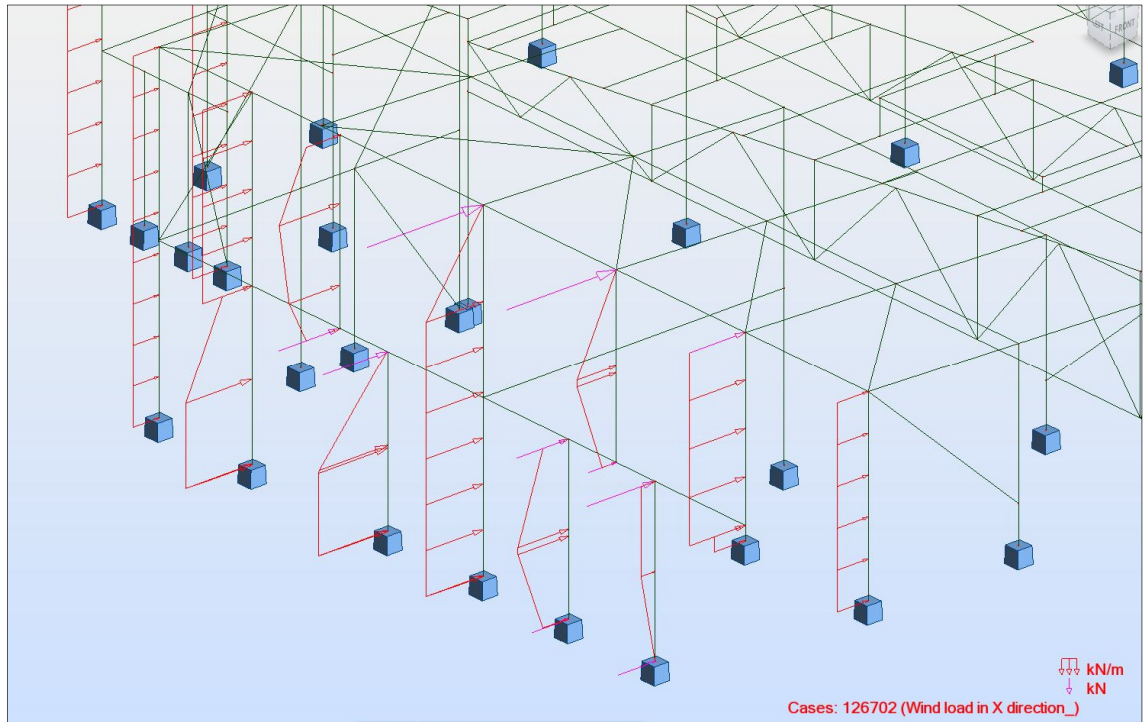
Kuva 19. Kuormitusyhdistelmien automaattisen luonnin valikko

Kuormitusyhdistelmille ja kuormille on myös luotu omat Excel-taulukko-ohjelmansa, joiden avulla kuormitusyhdistelmät voidaan luoda systemaattisesti nimetyistä kuormaryhmistä automaattisesti ja kuormat voidaan siirtää suoraan *Teklaan*, kun niiden sijainti- ja suurustiedot tiedetään. Ohjelmat ovat KPM-Engineeringin tekemiä ja yhtiön omaisuutta. Enemmän lisäohjelmista liitteessä kaksi (Liite 2). [2.]

#### 5.4 Ongelmat ja johtopäätökset

Monimuotoisilla ja epäsäännöllisillä kuormilla kuormien jakautuminen tapahtuu välillä epäloogisilla tavoilla. Tällaisissa tapauksissa kuormat muodostuivat erilaisista trapetsi- ja pistekuormien yhdistelmistä. Kuormat ovat periaatteessa oikein ja halutuille rakenteosille jakaantuneita, mutta niiden hahmottaminen ja hallinta on monin kerroin hankalampaa, kuin suorilla viivakuormilla.

Ongelma voidaan kuitenkin kiertää esimerkiksi jakauttamalla kuormat etukäteen ja mallintamalla kuormat suoraan *Teklassa* viivakuormina halutuille osille.



Kuva 20. Tasomuotoisen tuulikuorman jakautuminen trapetsi- ja pistekuormiksi seinäpilareille

Parhaimmat tulokset tasokuormia käyttämällä saadaan kuitenkin käyttämällä *Area load* -työkalua kuormien tekemiseen ja jakamalla tasokuormat helposti hallittavan kokoisiin osiin, esimerkiksi kantosuunnan mukaan. *Area load* -valinnalla voi tehdä vain suorakulmion ja kolmion muotoisia kuormia, mikä helpottaa kuormien jakaantumisen hallintaa selvästi.

Joskus kuormat jakaantuvat trapetsikuormiksi, vaikka kantosuunta ja filterit antaisivatkin jakaantumisosiksi vain haluttuja osia. Tällaisissa tapauksissa kuormien jakaantumisesta voi koettaa ohjailla jakaantumisvalinnoista *bounding boxia* ja *distances* -valintoja muokkaamalla.

## 6 Laskenta ja tulokset

### 6.1 Mallin siirto ja laskenta

Mallin siirto tapahtuu asennetulla komponentilla automaattisesti valitsemalla *Analysis & Design models* valikosta haluttu malli ja painamalla ikkunan alalaidan *Export*-nappulaa.

Komponentti aukaisee *Robotin* automaattisesti ja luo *Robotiin* sopivan analyysimallin *Teklaan* asetetuista tiedosta. *Robot*-malli ottaa nimensä automaattisesti valittuna olevan *Teklan* analyysimallin nimestä.

Oikean version käyttäminen on tärkeää, koska liitännäinen ei vaikuttanut olevan täysin yhteensopiva kaikkien laskentaohjelmaversioiden kanssa. *Robot 2011* ei osannut tulkittaa siirretyn mallin rakenteiden omapainoja oikein, mikä johti tuhatkertaisiin voimiin rakenteissa. Ratkaisuksi ei keksitty muuta kuin ohjelman vaihtaminen uudempaan versioon, jonka kanssa kuormat alkoivatkin toimia halutulla tavalla.

## 6.2 Profiilit

*Teklan* ja *Robotin* välissä oli aluksi profiilien kanssa joitain ongelmia. Siirrettäessä mallia *Teklasta* siirtokomponentti muutti osia näennäisen sattumanvaraisesti asetetuista profiileista eri profiileiksi. Suurin osa neliöputkiteräsprofiileista muuttui TCAR-malliseksi putkiprofiileiksi, jotka löytyivät *Robotissa* ranskalaisesta profiilikatalogista, ja loputkin yhtä lukuun ottamatta ovat vaihtaneet tyyppiä. IPE-profiilit ovat säilyneet muuttumattomina.

Taulukko 2. Putkiprofiilien oletusarvoiset profiilimuutokset siirrettäessä *Teklasta Robotiin*

Profiili Teklassa		Profiili Robotissa
CFRHS140x140x7.1	→	CFRHS 140x140x7.1
CFRHS100x50x5	→	RHS 100x50x5
CFRHS140x70x6	→	RRHS 140x70x6
CFRHS120x120x6	→	SHS 120x6
CFRHS80x80x4	→	TCAR 80x4
CFRHS80x80x5	→	TCAR 80x5
CFRHS100x100x4	→	TCAR 100x4
CFRHS100x100x5	→	TCAR 100x5
CFRHS150x150x6	→	TCAR 150x6
CFRHS150x150x8	→	TCAR 150x8
CFRHS180x180x8	→	TCAR 180x9
CFRHS200x200x8	→	TCAR 200x8
CFRHS200x200x10	→	TCAR 200x10
CFRHS250x250x8	→	TCAR 250x9



Profiilien muuttuminen olisi erittäin ongelmallinen asia mallinsiirtolisäosan käytännöllisyyden takia. Jos profiilit täytyy jokaisessa siirrossa erikseen muuttaa takaisin oikeiksi, kuluu mallin siirrossa hyvin paljon enemmän aikaa kuin pitäisi. Rakennemallin käytön kannalta on kuitenkin oleellista, että osa ja rakennusosakuviissa profiilit ovat juuri ne tietyn valmistajan profiilit, joita niiden on sopimuksien mukaan oltava.

Asian tutkimisen jälkeen selvisi, että lisäosa muuttaa profiileja, koska *Tekla*an mallinnettavia Rautaruukin teräspuikprofiileja ei ole luotu *Robotin* materiaalikatalogiin samoilla tunnuksilla, eikä plugin löydä suoria vastaavuuksia. Profiilimuutokset voidaan kuitenkin asettaa manuaalisesti halutuiksi muuttamalla **ROBOTProfileMappingFile.cnv** tiedoston sisältöä koodieditorilla. Tähän tiedostoon on listattu, miten lisäosa muuttaa listattuja profiileita *Teklan* ja *Robotin* välillä. Tiedostoon voidaan lisätä uusia profiileja ja muokata olemassa olevia välityksiä projektin tarpeen mukaan.

```

R. !
! Europe sections
! Add A&D app section next to Tekla section separated by space or tab
CFCHS114.3X3.2 CHS 114.3x3.2
CFCHS114.3X3.6 CHS 114.3x3.6
CFCHS114.3X4.0 CHS 114.3x4
CFCHS114.3X5.0 CHS 114.3x5
CFCHS114.3X6.3 CHS 114.3x6.3
CFCHS139.7X10.0 CHS 139.7x10
CFCHS139.7X3.2 CHS 139.7x3.2
CFCHS139.7X4.0 CHS 139.7x4
CFCHS139.7X5.0 CHS 139.7x5
CFCHS139.7X6.3 CHS 139.7x6.3
CFCHS139.7X8.0 CHS 139.7x8
CFCHS168.3X10.0 CHS 168.3x10
CFCHS168.3X4.0 CHS 168.3x4

```

Kuva 21. ROBOTProfileMappingFile.cnv tiedoston koodisiältöä

Oletuksena tiedosto löytyy lisäosan ohjelmistokansioista: **C:\ > TeklaStructures > TS\_ROBOT**. Tiedostoon voidaan lisätä uusia profiileja ja muokata olemassa olevia välityksiä projektin tarpeen mukaan. Tiedosto on tietokone- ja ohjelmakohtainen, eikä sitä saa suoraan käyttöön esimerkiksi serverin tai käyttöympäristön kautta, joten suuressa yrityksessä tiedoston sisältö ja sen käyttö eri projekteissa täytyy koordinoida erikseen.

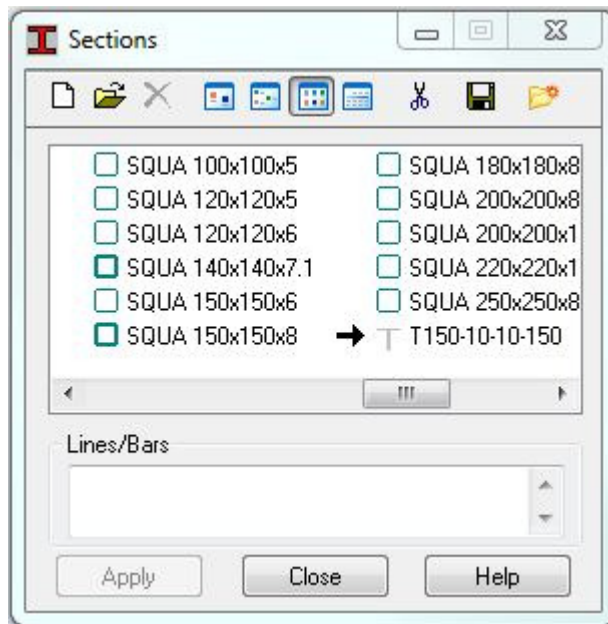
Taulukko 3. Rautaruukin vastaavat teräsputkiprofiilit *Teklassa* ja *Robotissa*

Profiili Teklassa		Profiili Robotissa
CFRHS140x140x7.1	→	SQUA 140x140x7.1
CFRHS100x50x5	→	RECT 100x50x5
CFRHS140x70x6	→	RECT 140x70x6
CFRHS120x120x6	→	SQUA 120x120x6
CFRHS80x80x4	→	SQUA 80x80x4
CFRHS80x80x5	→	SQUA 80x80x5
CFRHS100x100x4	→	SQUA 100x100x4
CFRHS100x100x5	→	SQUA 100x100x5
CFRHS150x150x6	→	SQUA 150x150x6
CFRHS150x150x8	→	SQUA 150x150x8
CFRHS180x180x8	→	SQUA 180x180x8
CFRHS200x200x8	→	SQUA 200x200x8
CFRHS200x200x10	→	SQUA 200x200x10
CFRHS250x250x8	→	SQUA 250x250x8

Mapattujen profiilien löytyminen *Robotista* on helppoa tarkistaa. *Robotin sections-*valikossa näkyvät kaikki profiilit, joita mallissa on käytössä. Profiilinimen vieressä näkyvästä kuvasta selviää profiilin tyyppi mallissa. Jos kuvake on sinertävä, löytyy profiili *Robotin* profiililuetteloista ja on käyttövalmis, jos taas kuvake on harmaa, on profiili luotu siirrettäessä *tapered*-mallisena parametriseinä profiilina. Jos kuvakkeen vieressä ei ole mitään kuvaa, ei profiilille ole löydetty eikä saatu luotua vastaavaa profiilia *Robotiin*, jolloin laskenta antaa vääriä tuloksia. [5.]

Jos *Robot* ei löydä sauvalle profiilia, ei *Robot* voi laskea mallin statiikkaakaan oikein. Tämän voi havaita mallissa yleensä joihinkin osiin kohdistuvina monikymmen- tai satakertaisina kuormituksina. Pienessä mallissa, jossa voimat eivät ole suuria, on poikkeavat voimat yleensä helppo löytää mallista, mutta suuressa mallissa, jossa voimat ovat suuria, saattavat poikkeavat voimat hukkuu oikeiden joukkoon. Profiilien olemassa olo tuleekin aina tarkistaa ennen laskennan aloittamista.





Kuva 22. *Robotin* profilivalikko

### 6.3 Materiaalit

Materiaaleille löytyy myös oma .cnv -tiedosto, jossa voidaan määritellä, millä arvoilla *Teklan* materiaalitiedot siirtyvät *Robotiin*. Tiedosto ei kuitenkaan määritä osille valmiiksi *Robotiin* määriteltyjä materiaaleja, vaan tekee täysin uudet parametriset materiaalit *Teklan* materiaalin nimellä. Näiden uusien materiaalien arvot voidaan asettaa *Mapping filestä*. Siirtolisäosan luomat materiaalit tunnistaa materiaalinimen perään tulevasta alaviivasta.

Siirtomateriaalien käytöstä ei kuitenkaan ole hyviä kokemuksia, ja lisäosan siirtämien materiaalien kanssa laskemisesta seuraa usein vääriä tuloksia. Ennen kuin *Robotissa* aletaan mitoittaa teräsosien kestävyyttä, pitää materiaalit vaihtaa kaikille osille vastaavaan *Robotin* materiaaliin. [2.]

Bar	Node 1	Node 2	Section	Material	Gamma (Deg)	Type	Structure object
33	50	51	140x70x5	S355J2H	270.0	N 1993-1:2005)	Bar
34	52	53	140x70x5	S355J2H	270.0	N 1993-1:2005)	Bar
46	70	69	00x100x5	S355J2H	0.0	N 1993-1:2005)	Bar
47	71	70	00x100x5	S355J2H			
54	81	82	80x80x4	S355J2H			
55	83	84	80x80x4	S355J2H			
56	85	86	80x80x4	S355J2H			
64	95	69	0x200x10	S355J2H			
65	96	70	0x200x10	S355J2H			
71	86	83	80x80x4	S355J2H			
72	84	81	80x80x4	S355J2H			
78	10	562	80x80x5	S355J2H			
79	8	564	80x80x5	S355J2H			
103	120	559	80x80x5	S355J2H			
126	143	553	80x80x5	S355J2H			

Insert to Column

1 S355

Material

Modification type

☒ Absolute ☐ Relative ☐ Incremental

OK Cancel

Kuva 23. Siirto-ohjelman luomat materiaalit tulee vaihtaa

## 6.4 Mitoitusarvot

Teräsosien mitoituksessa käytettävät arvot voidaan asettaa suoraan *Teklassa* analyysiosille. Analyysissa käytettävät arvot löytyvät analyysiosan ominaisuuksista välilehdeltä *Design*.

Nurjahduspituudet voi asettaa joko absoluuttista pituutta käyttäen tai pituuden kerrointa käyttäen. Nurjahduspituudet asetetaan *Design*-valikon *KZ(ROBOT)* ja *KY(ROBOT)* tai *LZ(ROBOT)* ja *LY(ROBOT)* valintoja muokaten. K-arvot antavat suhteellisen pituuden ja L-arvot antavat asettaa absoluuttisen nurjahduspituuden Z- ja Y-akseleiden suhteen.

Nurjahduskäyrät voi asettaa joko manuaalisesti tai antaa *Robotin* laskea arvot automaattisesti profiilitietojen perusteella. Käyrien arvot voi asettaa kohdasta *BucklingCurveZ* ja *BucklingCurveY*. Valinta *HotRolledPipes* auttaa nurjahduskäyrän automaattisessa laskennassa. *Teklan* arvona on oletuksena, että kaikki osat ovat kuumavalssattuja. Vaihtamalla valinnan arvoksi *No* ei osia enää käsitellä kuumavalssattuina.

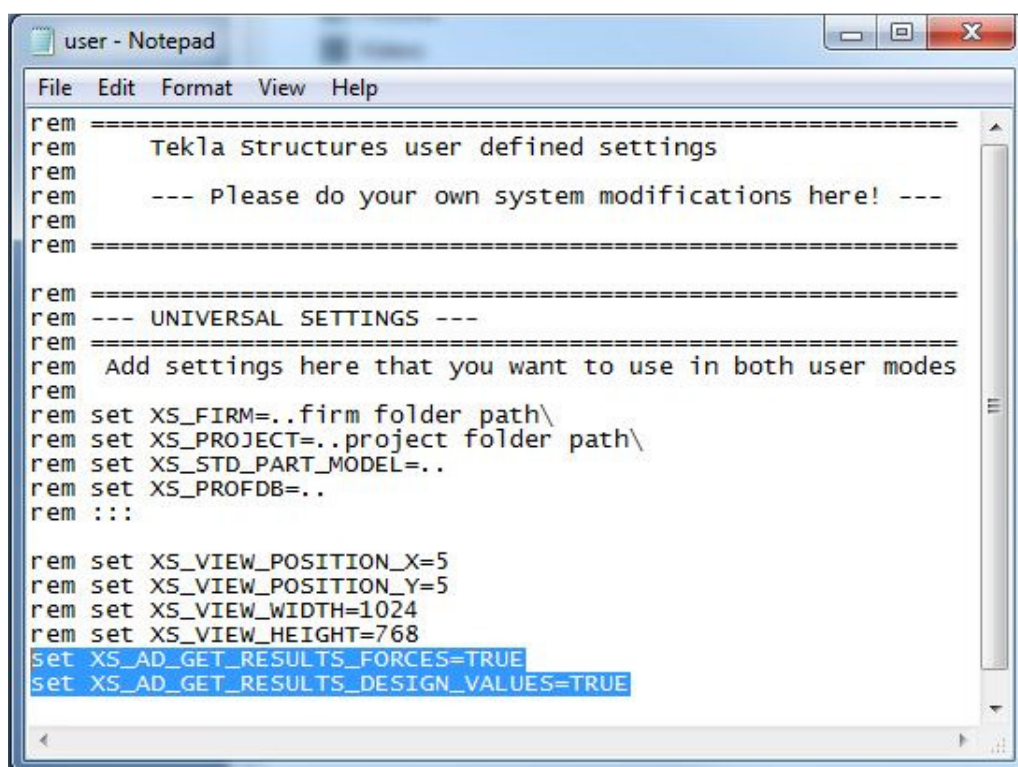
Puutteena *Teklan* mitoitusarvoissa on palomitoituksessa tarvittavat tiedot, jotka täytyy asettaa *Robotissa* erikseen *Robotin* omia työkaluja ja asetuksia käyttäen.

## 7 Tulosten tarkastelu ja muutokset

### 7.1 Tulosten siirtäminen

Ennen laskentatulosten siirtämistä täytyy *Teklan* **User.ini** tiedostoon tehdä käsin pieniä lisäyksiä. Jos *Tekla* on asennettu oletuskansioon löytyy tiedosto polusta **C:\ > Users > käyttäjä > AppData > Local > Tekla Structures > 18.0 > UserSettings**. Tiedostoon tulee lisätä koodieditorilla seuraavat rivit.

- set XS\_AD\_GET\_RESULTS\_FORCES=TRUE
- set XS\_AD\_GET\_RESULTS\_DESIGN\_VALUES=TRUE



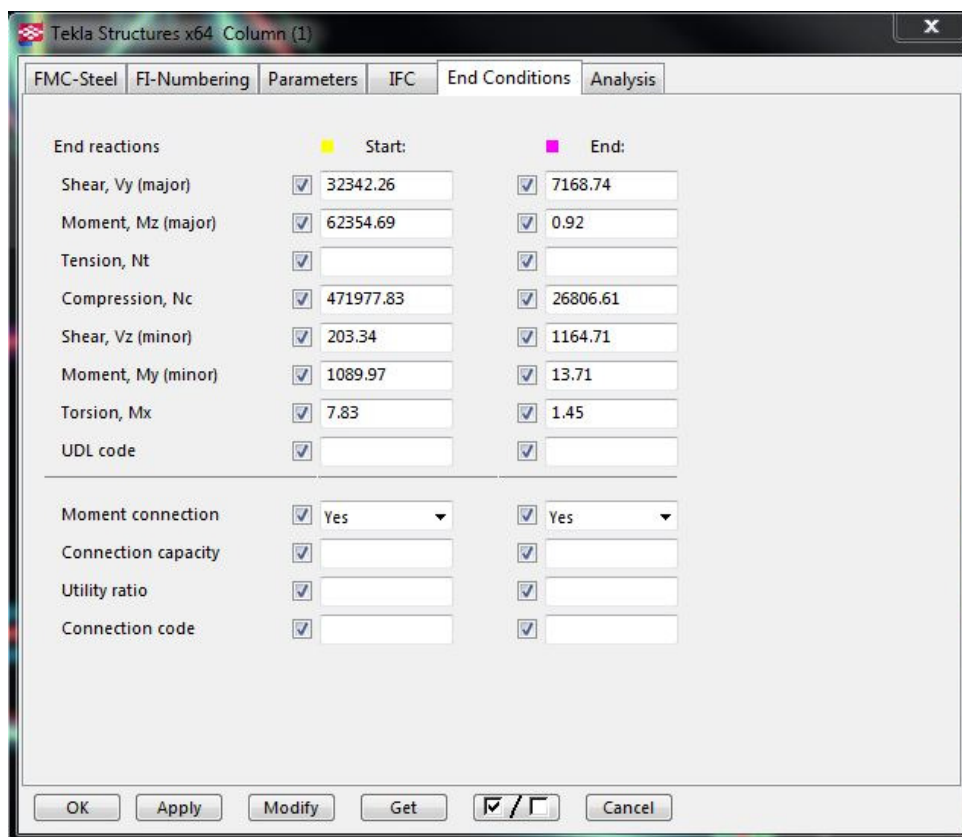
Kuva 24. User.ini tiedostoon tehtävät lisäykset.

Muutokset mahdollistavat mallitiedon tuomisen ja asettamisen ja suunnitteluarvojen muokkaamisen *Robotissa* luodun tiedon perusteella. Näiden lisäysten jälkeen on osien voimasuureiden siirtäminen *Robot*-mallista *Teklan* rakenneosiin mahdollista. [9.]

Laskennan valmistuttua *Robotissa* voi tehdä muutoksia mallin profiileihin. Muutokset voidaan hakea laskentamallista *Teklaan*, jossa ne voi yksitellen hyväksyä tai olla hy-

väksymättä. *Robotin* laskettua mallin, tulee se tallentaa. Sen jälkeen voidaan laskennan tulokset hakea *Teklaan* valitsemalla haluttu analyysimalli *Teklan* valikosta ja painamalla *Get results* -nappulaa. Tulosten saamiseksi on analyysimallin, josta tulokset halutaan, oltava valittuna ja näkyvänä *Teklan* analyysivalikosta. Analyysimallin voi kuitenkin sulkea tulosten kirjauduttua rakenneosiin.

*Robotissa* saatuja arvoja voidaan tarkastella yksittäisten sauvojen kohdalla sauvojen *User Defined Attributes* -valikosta. Analyysin tuloksista voimasuureet kirjautuvat *End conditions* -välilehdelle ja sauvan käyttöaste *Analysis*-välilehdelle.



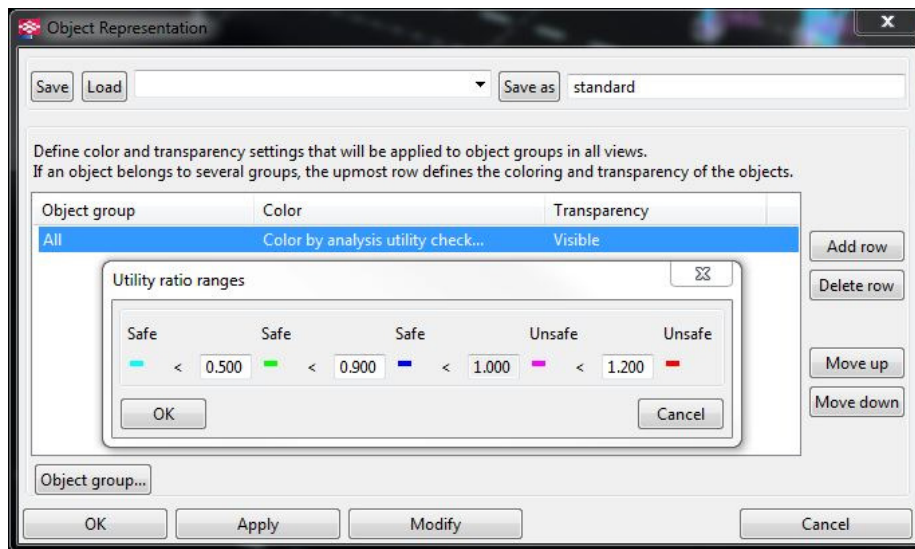
End reactions	Start:	End:
Shear, Vy (major)	32342.26	7168.74
Moment, Mz (major)	62354.69	0.92
Tension, Nt		
Compression, Nc	471977.83	26806.61
Shear, Vz (minor)	203.34	1164.71
Moment, My (minor)	1089.97	13.71
Torsion, Mx	7.83	1.45
UDL code		
Moment connection	Yes	Yes
Connection capacity		
Utility ratio		
Connection code		

Buttons: OK, Apply, Modify, Get, ☒ / ☐ (checkboxes), Cancel

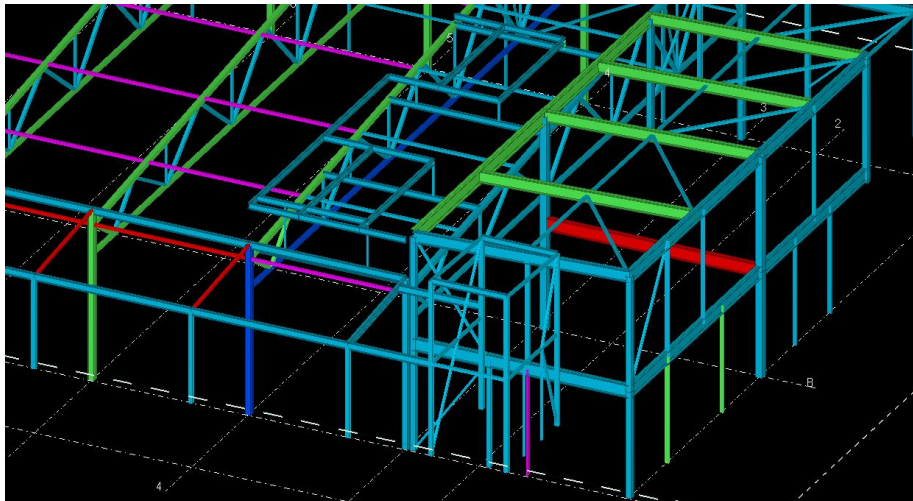
Kuva 25. *End conditions* -välilehdelle siirtyvät analyysitulokset

Käyttöasteita voi myös tarkastella havainnollistavalla värikartalla, joka värjää mallin rakenneosat halutuilla väleillä käyttöasteen mukaan. Sauvojen väritystä voi vaihtaa **View > Representation > Object Representation** -valikosta. Käyttöasteen mukainen väritys löytyy *Color* -sarakeesta valinnalla *Color by analysis utility check*. Valinnassa on viisi väriä, joille voi manuaalisesti asettaa rajat haluttujen käyttörajoitilavaatimusten mukaan. Oletuksena arvot ja värit ovat:

- Turkoosi  $< KRT < 0.50$
- Vaaleanvihreä  $0.50 < KRT < 0.90$
- Sininen  $0.90 < KRT < 1.00$
- Violetti  $1.00 < KRT < 1.20$
- Punainen  $1.20 < KRT <$



Kuva 26. Käyttörajatilan välit voi määrittää tarpeen mukaan

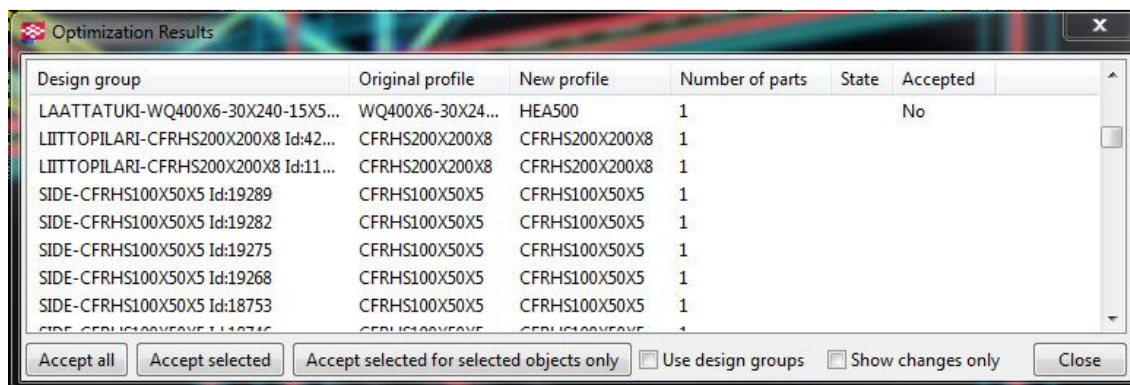


Kuva 27. Rakennemalliin havainnollistetut käyttörajat värikarttana



## 7.2 Muutosten päivittäminen Teklaan

Muuttuneiden profiileiden päivittäminen toimii samalla tiedonsiirrolla kuin tulosten hakeminenkin. Kun Sauvojen profiileita muutetaan *Robotissa*, löytyvät ne *Get results* -valikosta muuttuneiden profiileiden kohdalta.



Kuva 28. Laskennan ja profiilimuutosten hyväksymisvalikko

Tulokset voi jaotella valikossa rakenneryhmittäin tai kaikki osat erillisinä. Rakenneryhmiin jaotteleamalla *Tekla* muuttaa kaikki samalla nimellä ja profiililla olevat rakenneosat, jos yhteen osaan on tehty *Robotin* puolella muutoksia. Yksittäin erittelemällä, voi valita erikseen, mitkä osat muutetaan ja mitä ei. *Accepted*-sarakkeessa näkyy myös, kaikkien osien ollessa näkyvissä, jos osaan on tehty *Robotissa* muutoksia ja onko muutos hyväksytty *Teklaan* siirrettäväksi. Klikkaamalla rivin aktiiviseksi valikosta, näkyy rakenneosa aktiivisena mallinnusikkunassa. [1.]

## 7.3 Ongelmat ja johtopäätökset

Tulosten siirtäminen *Robotista Teklaan* on todella hidasta. Opinnäytetyössä käytetyssä suhteellisen pienessäkin, alle 500 sauvaa sisältävässä rakenteessa tulosten kirjautuminen *Teklan* rakenneosiin vei puolesta tunnista ylöspäin. Isoissa malleissa laskentaan vaikuttavia osia saattaa olla 25000, jolloin tulosten siirtäminen alkaa mennä jo mahdottoman puolelle.

*Teklalla* on myös joissain mallinsiirtoon tapahtumissa tapana vaatia ikkunoiden klikkaamista, ennen kuin viimeinen vaihe siirrosta käynnistyy, jolloin mallia ei myöskään voi jättää yksinään pyörittämään tuloksia poistumatta kovin pitkälle.

Muutostietojen siirtäminen onkin niin hidasta ja epävarmaa, ettei sitä suuremmassa mittakaavassa suositella käytettäväksi. Nopeampi ja tehokkaampi tapa on ajaa *Robotissa* tarvittavat analyysit ja muuttaa profiilit ja muut tarvittavat tiedot *Teklassa*. Kun kaikki tarpeellinen analyysitietous löytyy *Tekla*-mallista, tulee *Robot*-malleista kerta-käyttötavaraa, jonka voi kulloisenkin analyysin jälkeen joko hävittää tai arkistoida. Uuden analyysin tarpeessa ajetaan *Teklasta* uusi *Robot*-malli.

Analyysitietojen löytymiselle *Teklastakaan* ei ole löydetty suuria käyttötarpeita, koska tiedon hakeminen ulos mallista on suhteellisen vaikeaa verrattuna *Robotin* taulukkomuotoiseen tietoon. Käyttöasteiden mukaan värjäytyneitä rakenneosia voitaisiin ehkä käyttää lähinnä havainnollistamistarkoituksessa suunnittelijan ja tilaajan välillä.

## 8 Yhteenveto

### 8.1 Hyödyt

Yksi suurimpia hyötyjä rakennemallilla laskemisessa on se, että laskenta- ja rakenne-mallit ovat varmasti aina yhteneviä. Erillisellä laskentamallilla ja rakennemallilla on mahdollista, että joitain muutoksia jää inhimillisen erehdysten takia päivittämättä mallis-ta toiseen. Vääränlaiset rakenteet tai väärät profiilit voivat aiheuttaa suurenkin varati-lanteen rakennuksen rakentamis- tai käyttövaiheessa tai haitata rakennuksen käyttö-mukavuutta esimerkiksi liiallisina taipumina ja värähtelyinä.

*Teklan* käyttöliittymä on paljon sujuvampi mallintamiseen, kuin *Robotin*. Monelle mallin-tajalle *Tekla* on tullut käytössä tutummaksi kuin *Robot* ja *Teklan* käytöstä on opittu ot-tamaan tehokkaasti kaikki irti.

Kaikki kuormat ja rakenneosat on mahdollista syöttää *Teklaan*. Tämä ominaisuus aut-taa suunnittelussa, kun kaikki tieto on saman ohjelman sisällä ja saatavissa näkyville tarvittaessa muutamalla klikkauksella. Rakennemuutoksien aiheuttamia muutoksia esimerkiksi kuormien jakaantumiseen voidaan myös hallita paremmin, kun kaikki ra-kenneosan laskemiseen tarvittavat muutokset voidaan tehdä samalla kertaa.

### 8.2 Ongelmat

*Teklaa* ei ole alunperin suunniteltu analyysimallintamista varten. *Teklan* käyttöliittymäs-sä onkin vielä puutteita analyysin kannalta mallintamisen suhteen. Suuressa mallissa analyysitila muuttuu nopeasti varsin sekavaksi, kun kaikki sauvat, sauvanumerot ja solmupistenumerot ovat jatkuvasti näkyvillä. *Tekla* tarvitsisikin erillisesti analyysitilaa varten samanlaiset filttäjämahdollisuudet kuin rakennemallintamispuolella, jotta voi-taisiin tehokkaasti määritellä mitä analyysitilassa on näkyvissä.

Myös muutosten ja tulosten siirtäminen *Robotista Teklaan* on todella hidasta. Tässä työssä käytetty malli on suhteellisen pieni rakenne verrattuna toimistossa suunnitelta-viin isoimpiin rakenteisiin. Opinnäytetyömallissa sauvoja on noin 500 ja suurissa ra-kennuksissa sauvoja saattaa olla 30000. Jopa näin pienessä mallissa tulosten siirtämi-nen vei aikaa puolesta tunnista ylöspäin. Päivittäminen olisi myös tehtävä melko use-



asti mallien yhtenevyyden varmistamiseksi. Usean tunnin tulosten odottelu ei ole yhtenevä ajankäytön tehostamisen kannalta, varsinkaan kun molemmat ohjelmat ovat siirtovaiheessa käytettämättömissä.

Muutamaan otteeseen opinnäytetyön aikana kävi myös niin, että *Tekla* suoritti tulosten hakemisen *Roboŕista* näennäisesti normaalisti, mutta kun tuloksia koetti rakennemallintamistilassa tarkastella, olivat kaikkien sauvojen tuloskentät tyhjentyneet vanhoistakin tiedoista. Näissä tapauksissa tulokset saatiin takaisin vain ajamalla tulosten hakeminen uudestaan.

Kuormat ovat myös todella epähavainnollistavia. Eri kuormaryhmiin kuuluvilla kuormilla on eriväriset symbolit mallissa, mutta muuten kuormien näkymisessä ei ole suuria vaihteluja. Kuormat ovat skaalattuna lähes samaan kokoon riippumatta kuorman suuruudesta, eikä kuormien arvoja saa näkyviin, muuten kuin *inquiren* tai ominaisuuksien kautta yhden kuorman kerrallaan. Kuormilta puuttuu myös UDA-tietovalikko, joten niille ei voi asettaa mitään käyttäjän omaa tietoa.

Kuormien ulkonäössä on myös puutteita. Kuormat tulisi saada näkyviin myös *solid*-tilassa havainnollistamisen helpottamiseksi. Kuormien tulisi myös olla paljon suuremmalla varioinnilla skaalautuvia ja kuormien voima-arvot tulisi saada näkyviin mallinnustilassa. Kuormille tarvitsisi myös sisäänrakennetun ominaisuuden, josta näkisi missä suhteessa kuormat jakaantuvat osille, ilman että malli täytyy ajaa *Roboŕiin* asti. Tämä ominaisuus voidaan kuitenkin ohjelmoida ulkoiseen ohjelmaan (Liite 2).

### 8.3 Muuta huomioitavaa

Analyysimallintaminen vaatii paljon enemmän tarkkuutta, kuin normaali rakennemallintaminen. Projektinhallintaan, osien nimeämiseen, UDA-tietoihin ja numerointiin tulee kiinnittää huomiota vielä enemmän kuin aiemman mallinnustavan kanssa.

Kuormien siirtäminen on hieman ongelmallista. Tasokuormina mallintaminen helpottaisi kuormien hahmottamista, mutta kun analyysimalli siirretään *Roboŕin* puolelle muutetaan tasokuormat viivakuormiksi määritellyille rakenteille. Tämä siirto ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Varsinkin tapauksissa, joissa kuorma on epämääräisen muotoinen ja jakavia osia on epäsymmetrisesti saattavat jakaantuvat kuormat hajota yhtenäisistä

viivakuormista erilaisiksi trapetsikuormien ja pistekuormien yhdistelmiksi. Tätä voidaan kuitenkin kiertää mallintamalla kuormat jaoteltuina pienempiin osiin kantavien osien muodostamien alueiden mukaan, ja tarkistamalla kuormien jakaantuminen ennen laskennan aloittamista.

Mallintaminen täytyy rakennetilassa suorittaa huomattavasti nykyistä tarkemmin. Normaalisti palkkeja voi melko helposti vain raahata paikasta toiseen, mutta analyysitilaa hyödynnettäessä palkkien ja pilarien siirrossa täytyy aina ottaa huomioon analyysisauvan sijainti, ja sauvojen tarkempi siirto tulee tehdä sauvan *offsete* hyväksikäyttäen.

Myös sauvojen kohdistaminen on analyysitilan kannalta työläämpää. Esimerkiksi tapauksissa, joissa pieni palkki liitetään suuremman palkin kylkeen, on sauvojen keskilinjojen kohdistaminen työlästä, koska *Teklassa* ei saa suoraan tartuttua palkkien keskilinjaan. Vinojen tason mallintamisessa työ vielä hankaloituu entisestään. Muutamien millienkin heitot voivat aiheuttaa *Robotiin* siirtäessä ylimääräisten solmupisteiden ja jäykkien linkkien muodostumisen tai pahimmassa tapauksessa sauvojen irtonaisuuden.

## 9 Johtopäätökset

Tietomallintaminen on rakennusalan kovimmassa kehityksessä tällä hetkellä oleva osa-alue. Suunnittelutoimistojen on jatkuvasti kehitettävä toimintatapojaan ja suunnittelu työkalujaan pysyäkseen mukana suunnittelutoiminnan kärjessä. Työn toimeksiantaja IS-Plan Oy käyttää *Tekla Structuresia* kaikissa hankkeissaan. Yhtiö halusikin tietoa, miten *Tekla Structuresissa* olevia analyysiominaisuuksia voidaan hyväksikäyttää toimiston päivittäisissä tehtävissä työskentelyä tehostavalla tavalla.

*Tekla Structuresia* ei ole alun perin suunniteltu laskentaa ja analyysiä varten. Analyysitoiminnot ovat tulleet ohjelmaan jälkeinpäin palvelemaan käyttäjiä paremmin. Tästä johtuen *Teklan* analyysitoiminnot ja analyysitilan käyttöliittymä on jonkin verran suppeampi kuin täysin laskentaan keskittyneiden ohjelmistojen, kuten *Robotin*. *Teklan* ominaisuudet onkin tarkoitettu avustamaan rakenneanalyysiprosessissa, eikä tuottamaan omavaraisia laskelmia tai rakennelaskentatuloksia. Tästä kertoo muun muassa se, että analyysimallien siirto on toteutettu erillisellä lisäosalla, eikä sitä ole sisällytetty ohjelman perusominaisuuksiin.

*Teklasta Robotiin* analyysitietoa kuljettava lisäosa on kuitenkin tervetullut lisä ohjelmiston ominaisuuksiin. Lisäosalla saadaan kuljetettua rakenne- ja geometriatietoa millintarkasti *Teklan* rakennemallista *Robotiin* laskettavaksi. Tämä on hyvä ominaisuus, sillä se takaa rakenteiden yhtenevyyden toteutettavan ja laskettavan rakenteen välillä.

Profiilien siirtäminen on lisäosassa toteutettu mappautiedoston avulla. Tiedosto on tekstimuotoinen lista, jossa on lueteltu peräkkäin *Teklan* ja *Robotin* vastaavat profiilit. Oletuksena lista on toteutettu huonosti, ja ennen projektiin ryhtymistä on varmistettava, että tarvittavat profiilit löytyvät sekä mappautiedostosta, että *Robotin* profiilikatalogeista. Jos siirrettäviä profiileja ei ole katalogissa saattaa laskentaan siirtyä reilusti ylimääräisiä voimia. Tämä kuitenkin on hallittavissa kurinalaisen mallintamisen ja profiilienhallinnan kautta.

Materiaalitiedon siirtyminen ei tällä hetkellä toimi kunnolla lisäosan kautta. Lisäosan luomista materiaaleista puuttuu tietoja, jotka saattavat vaikuttaa laskennan tuloksiin. Ennen laskennan aloittamista tulee *Robotissa* vaihtaa kaikki materiaalit mallista. Tämä on kuitenkin onneksi suhteellisen nopea toimenpide *Robotin* ominaisuuksien ansiosta, eikä vaikuta oleellisesti työskentelytehokkuuteen.

Ongelmia oli myös muun muassa tasokuormien siirtymisessä *Robotiin*. *Robot* jakoi joissain tapauksissa kuormia trapetsi- ja pistekuormien yhdistelminä, joten niiden tulkitseminen ja hallitseminen jälkeinpäin *Robotissa* oli hankalaa. Suurinta osaa kuormien erikoisista jakaantumisista pystyy hallitsemaan kuormien *bounding*-aluetta muokkamalla, mutta joissain tapauksissa kuorma silti käyttää filttäreistä huolimatta ylimääräisiä osia jakaantumiseen. Ongelman voi välttää mallintamalla kuormat valmiiksi viivakuormina ja pistekuormina sauvoille jaoteltuna tai jakamalla kuormat pienemmiksi tasokuormien osiksi kantoalueiden mukaan, mutta kuormien muuntaminen on kuitenkin ekstratyötä verrattuna ohjelman teoreettisen potentiaaliin. Varsinkin isoissa malleissa kuormat saattavat aiheuttaa paljon hankaluuksia suurien määriensä takia.

*Teklan* ja *Robotin* välinen siirtolisäosa on hyvä lisä *Teklan* toimintoihin puutteistaan huolimatta. Mallintamien analyysin kannalta voidaan suhteellisen helposti ottaa käyttöön pelkän analyysimallin siirtolisäosan avulla jo nyt pienemmissä projekteissa, joissa analyysikomponenttien määrä on rajattu suhteellisen pieneksi.

Suurissa projekteissa, joissa kuormien ja rakenteiden määrä on moninkertainen, kannattaa ennen analyysimallintamisen käyttöönottoa hankkia lisää kokemusta analyysin ehdoilla mallintamisessa, mallintamisessa tarvittavista muutoksista projektinhallintaan ja mallintamisen kurinalaisuudesta. Käsien tehtäviä operaatiota helpottamaan kannattaa myös tehdä tai hankkia lisäohjelmia, jotka nopeuttavat ja varmentavat työskentelyä. Lisätietoa analyysimallintamisesta kannattaa myös hankkia yrityksistä, joissa lisäosa on ollut käytössä pidemmän aikaa.

## Lähteet

- 1 Tekla Structures Analysis Guide, Product version 18.0, August 2012 Tekla Corporation, Saatavissa Teklan Extranetistä
- 2 Keskustelutilaisuus, Jyri Tuori, KPM-EMgineering Oy, Tampere 27.03.2013
- 3 Tietoa Teklasta. 2013. Tekla Oyj:n kotisivut. <<http://www.tekla.com/FI/ABOUT-US/Pages/Default.aspx>>. Luettu 25.02.2013
- 4 Tekla Structures help.
- 5 Autodesk Robot Structural Analysis Metric Getting Started Guide, 2010, Autodesk.
- 6 Robot Structural Analysis, RSA-02 Kurssimateriaali, 2012 A&S Virtual Systems Oy
- 7 About Trimble, Trimble Inc.:n kotisivut. <[http://www.trimble.com/corporate/about\\_trimble.aspx](http://www.trimble.com/corporate/about_trimble.aspx)>. Luettu 25.02.2013
- 8 Autodesk Robot Structural Analysis Professional .-esite, Autodesk kotisivut. Saatavissa <<http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/pc/index?siteID=448412&id=17361259>>. Luettu 25.02.2013
- 9 Linking Tekla Structures with Analysis & Design software, Tekla Oy, Saatavissa: <<https://extranet.tekla.com/BC/TEKLA-STRUCTURES-EN/PRODUCT/INTERFACES/Pages/Default.aspx>>, Luettu: 20.03.2013.

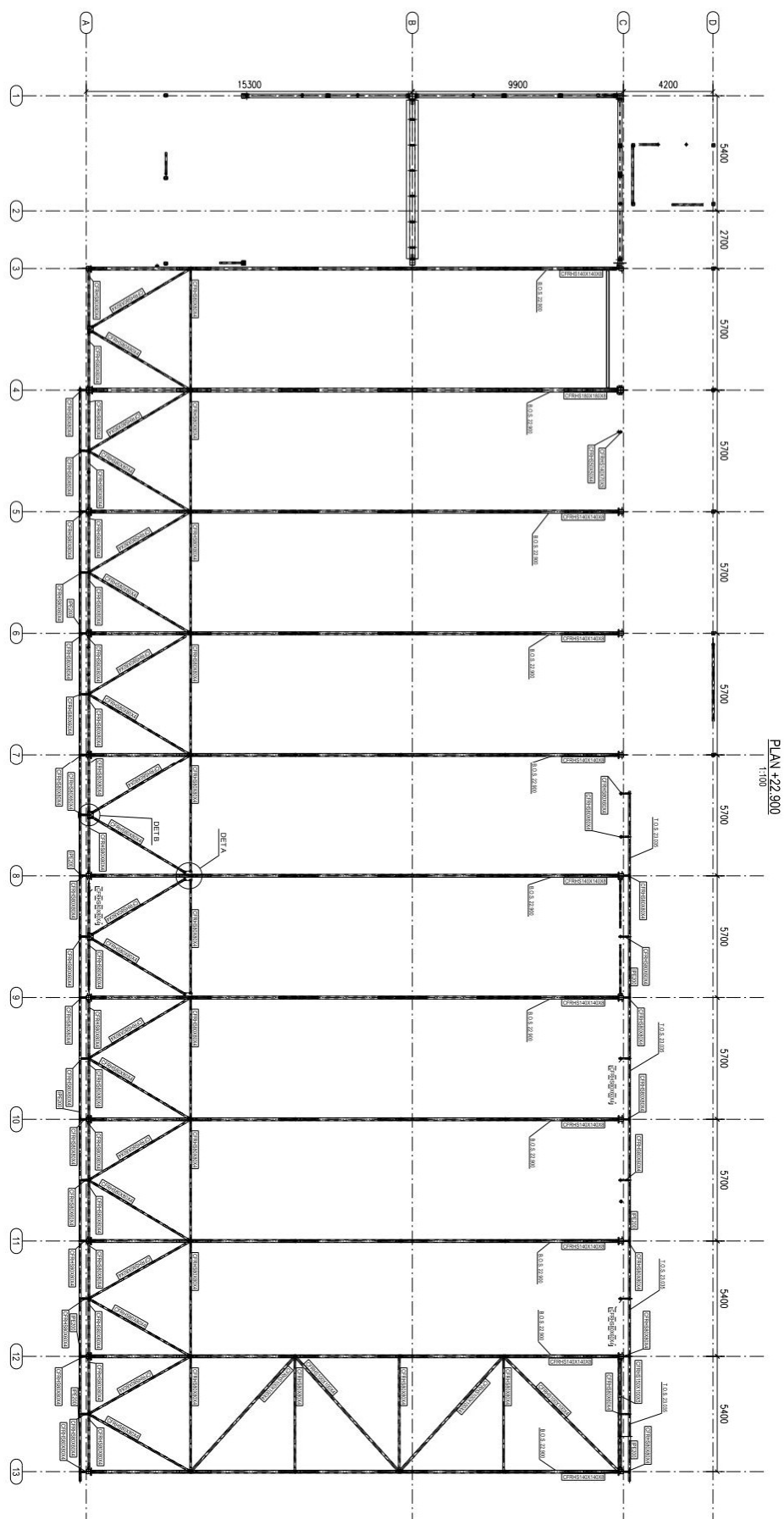
## **Rakenteen geometrian lähtötiedot**

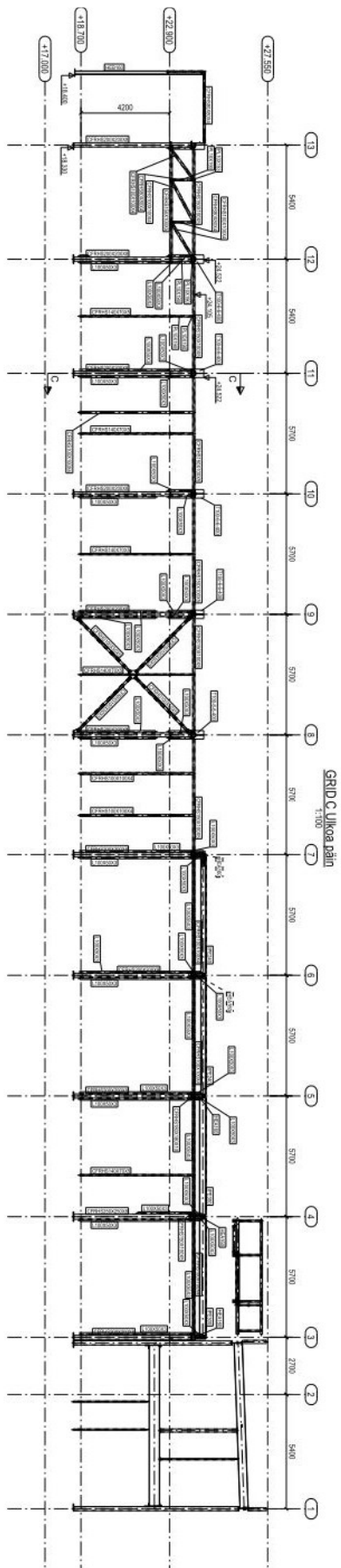
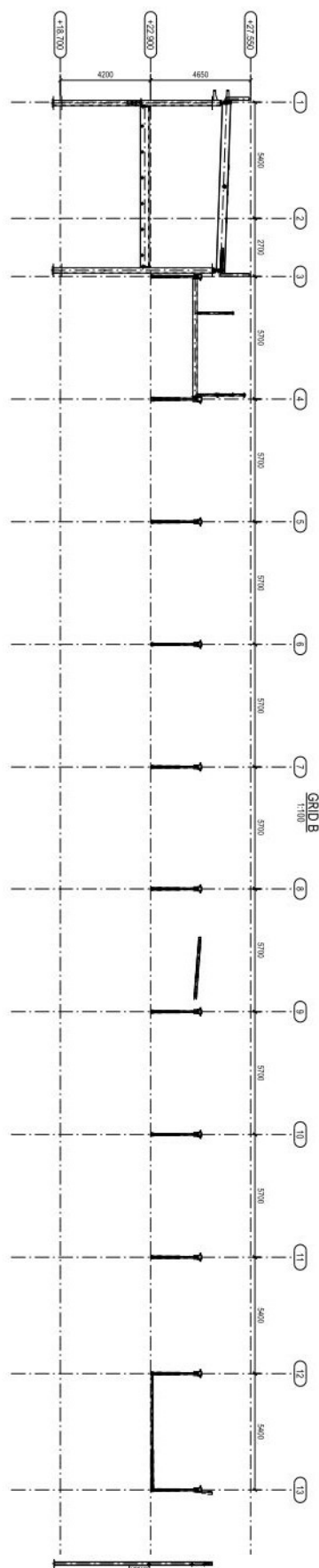
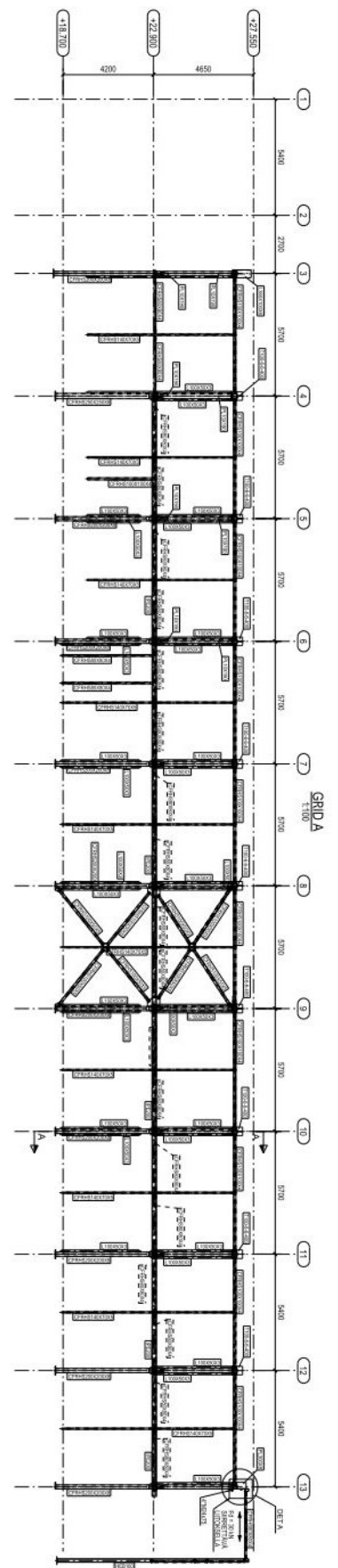
Plan +22.900

Leikkaukset: GRID-A, GRID-B, GRID-C

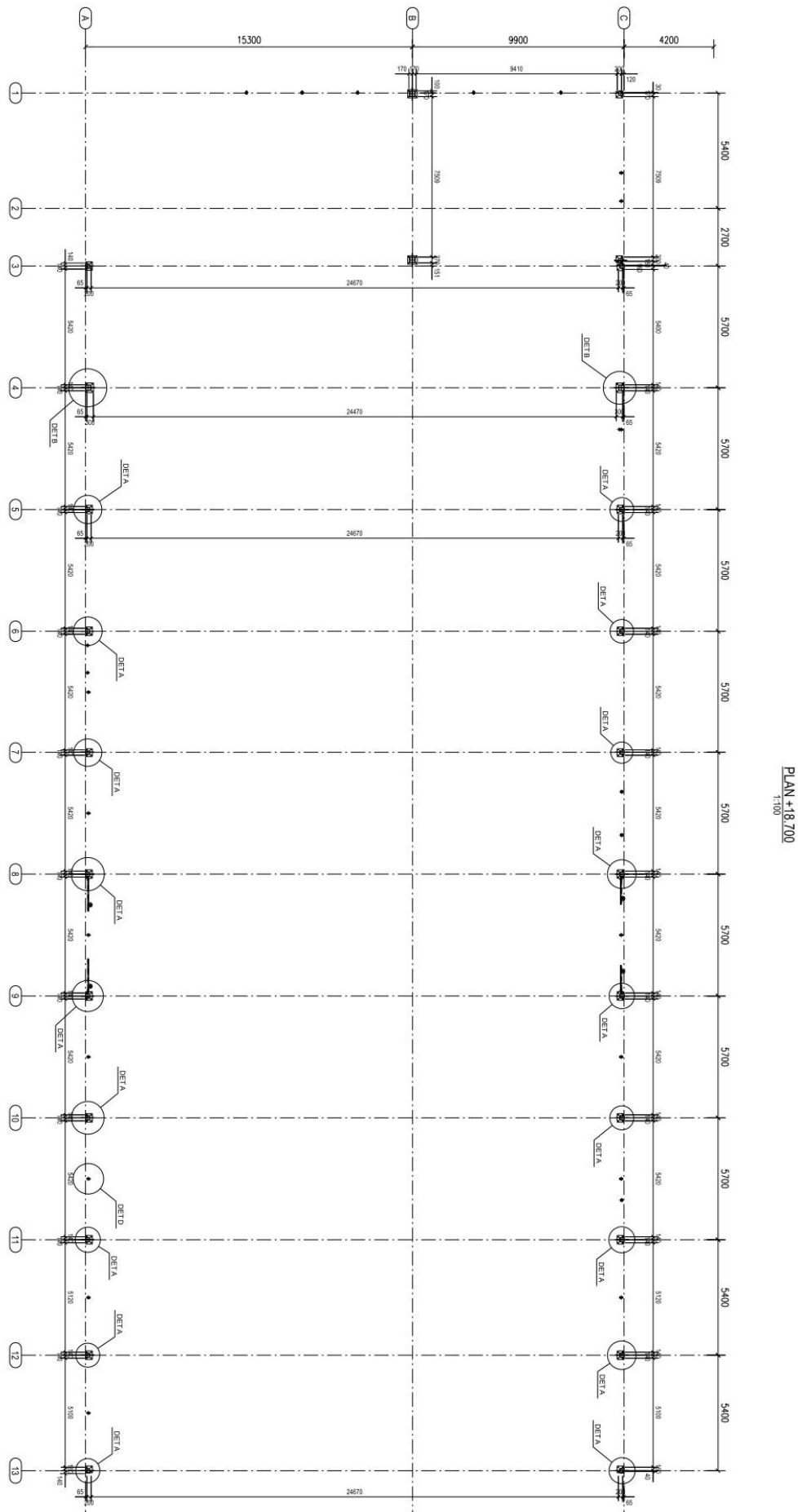
Plan +18,700

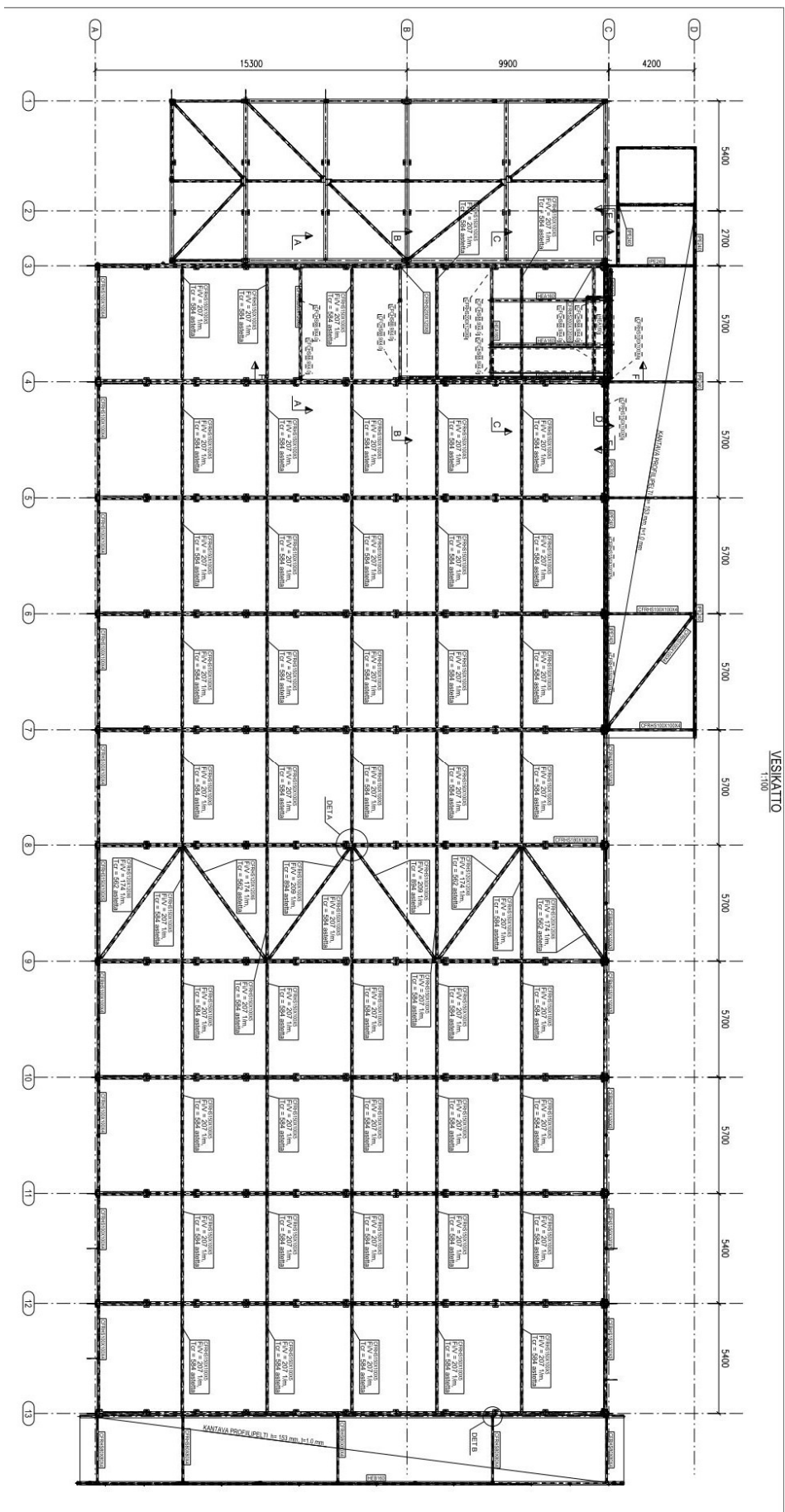
Plan: VESIKATTO











## KPM-Engineeringin apuohjelmat ja analyysilisäosat

IS-Plan Oy:n sisaryhtiössä KPM-Engineeringissä on toteutettu rakennelaskentaa *Teklan* analyysimallin avulla jo vuosia. Yrityksessä on suuremman työntekijämäärän takia hieman erilainen mallinnustapa, jossa rakennemallien laskenta ja detaljointi suoritetaan eri osastoilla, mutta lähtökohtaisesti samat mallinnusongelmat ovat olleet esillä toisesakin yhtiössä. KPM:llä onkin ohjelmoitu erilaisia mallinnusta avustavia, helpottavia ja tarkastavia ohjelmia *Teklan* analyysimallintamisen tarpeisiin.

Skeleton tools:

Skeleton Tools on *Teklaa* varten luotu yhdistelmä helpottavia työkaluja normaaliin rakennemallintamiseen ja analyysimallin luomiseen ja käyttöön. Ohjelmassa on suuri määrä erilaisia työkaluja, joilla voidaan tarkastaa ja muokata molempia malleja.

Käytännöllisimpiä työkaluja Skeleton Toolsissa on esimerkiksi kuormien jakaantumisen graafinen esikatselu *Teklan* mallinnusnäkökulman puolella. Normaalisti analyysimalli täyttyy aina siirtää *Robofin* puolelle, että kuormien jakaantuminen kunnolla voidaan tarkistaa. Skeleton Toolsin työkalu luo *Teklaan* jakaantumisten suuruudesta näkökulman, josta voi nopeasti tarkistaa, mille osille kuorma jakaantuu ja missä suhteissa.

Ohjelmassa on kuormien jakaantumisen tarkasteluun ja tarkistukseen työkalu, joka laskee jakaantuneiden kuormien voimat ja vertaa niitä alkuperäisiin kuormien määriin. Tarkasteluja voi suorittaa myös yksittäisten kuormien ja niiden jakaantuneiden voimien osalta.

Pistevoimat ovat *Teklan* analyysimallissa vain viivamaisesti kuvattuja ja siten vaikeasti havaittavissa. Skeleton toolsilla pistevoimat saadaan korostettua, jolloin ne voidaan helposti havaita myös sauvojen sisältä.

Skeleton toolsilla voi myös tarkistaa *Teklan* analyysimallin solmupisteet, joilla on taipumusta irtoilla toisistaan varsinkin suuremmissa malleissa. Työkalulla voi etsiä annettujen toleranssien avulla solmupisteet, jotka ovat irronneet toisistaan tai analyysisauvasta ja luon solmujen välille uuden yhteisen pisteen.

Geometriatyökalut ovat myös yksi käytännöllinen lisä *Teklan* valikoimaan. Työkaluilla voidaan tehdä muutamia analyysimallintamiselle käytännöllisiä geometrisiä muokkauksia sauvaosille. Työkalulla voidaan siirtää sauvojen päätepisteitä suoraan haluttuun pisteeseen monia samaan aikaan. Päätepisteitä voidaan myös siirtää suorassa linjassa tiettyyn samaan tasoon. Sauvoja voidaan katkoa tietyn linjan mukaisesti, jolloin sauvojen päätepisteet siirtyvät kyseiselle kohdalle, toisin kuin normaalilla leikkaustyökalulla. Ohjelmalla voi myös siirtää sauvoja tarkasti samaan tasoon, mikä on hyvin käytännöllistä kun koetetaan saada analyysisauvojen päätepisteitä kohtaamaan toistensa kanssa tarkasti.

Valittujen osien filttäminen on myös yksi lisäys toimintoihin, jotka normaalista *Tekla*sta puuttuvat. Toiminnolla voi rajata näkymän vain valittuihin osiin, ilman, että kaikille osille tarvitsee luoda yhteistä filttämisominaisuutta.

Kuormitusohjelma LoadBIM:in avulla voidaan Skeleton toolsilla tarkastella kuormia ja kuormien muutoksia *Tekla*mallissa graafisesti. Ohjelma korostaa malliin näkyviin halutulla tavalla uudet, muuttuneet, siirtyneet ja poistuneet kuormat.

Profiilitietokanta-Excel:

Profiilitietokanta-Exceliin voi syöttää haluttujen arvojen avulla minkälaisia hitsattuja I- ja koteloprofiileja tahansa projektissa tarvitaankin. Taulukko-ohjelma laskee annetuilla mitoilla profiileille arvot ja ohjelmasta voi automaattisesti luoda annetuista profiileista *Tekla*- ja *Robot* -tietokannat, jolloin molemmista ohjelmista löytyy vastaavat profiilit. Ohjelmalla voi tehdä myös *Robotin* ja *Teklan* väliset *mapping file*t, joilla *Teklan* Profiileja muutetaan vastaaviksi *Robotissa*. Työkalun avulla voi myös muokkaa *Teklan* tietokantarakennetta erilaiseksi, jolloin hitsatut profiilit ovat helposti ja loogisesti löydettävissä.

LoadBIM:

Kuormien luominen on suuressa mallissa aikaa vievä ja suurta tarkkuutta vaativa työvaihe. KPM:llä kuormat syötetään suoraan kuormatiedot sisältävään Excel-taulukkoon. Taulukosta löytyvät kuormien suuruudet ja suunnat, sekä tarvittavat sijainnit kuormien nurkkapisteille. Tavoite on, että kuormatiedot saataisiin jo suoraan tilaajalta Excel

muodossa, jolloin suunnittelusta jäisi kokonaan yksi työläs vaihe välistä. Taulukosta kuormat saadaan siirrettyä suoraan *Teklan* malliin, joissa kuormille jää tehtäväksi lähinnä tarkistus ja korjaus.

#### Kuormitusyhdistelmä-Excel:

Kuormitusyhdistelmien luominen käsin on *Teklan* työkalulla todella paljon aikaa vievää. Automaattisten kuormitusyhdistelmien käyttämistä taas ei suositella, niiden sisällön pienen arvaamattomuuden takia. KPM:llä kuormitusyhdistelmät saadaan luotua Excelin avulla. Exceliin voidaan syöttää kaikki tiedot kuormituksista ja niiden kertoimista ja kuormitustapausten nimistä, jonka jälkeen yhdistelmät voidaan siirtää suoraan *Teklaan* käytettäväksi. Taulukko myös säästää aikaa kuormitusyhdistelmien tekemisessä aina uudelleen ja uudelleen, kun pääpiirteittäin kuormitusyhdistelmät ovat projekteissa hyvin samankaltaiset.